



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

시설물 관리 시스템에 있어서
부품별 고장 위험우선순위를 이용한
고장 추정

**Failure Estimation Using Failure-Risk Priority of Parts
in Facility Management System**



2015년 8월

한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과

박동욱

본 논문을 박동욱의 공학석사 학위논문으로 인준함

위원장 김 재 훈 (인)

위 원 박 휴 찬 (인)

위 원 류 길 수 (인)



2015년 6월 29일

한국해양대학교 대학원



목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	iv
제 1 장 서 론	1
제 2 장 관련 연구	3
2.1 BOM	3
2.2 FMECA와 FTA	5
2.2 HTML5와 모바일 어플리케이션	12
제 3장 부품별 위험우선순위를 이용한 고장 추정 기법	16
3.1 FMECA를 이용한 고장 추정	20
3.2 FTA를 이용한 고장 추정	30
3.3 위험우선순위 개선	36
제 4 장 시설물 관리 시스템의 설계 및 구현	38
4.1 시스템 전체 구성도	38
4.2 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈	44
4.3 HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈	45
4.4 실행결과	46
제 5 장 결론 및 향후연구	54
참고문헌	55

List of Tables

표 2.1 BOM 구성	3
표 2.2 설계 FMECA 시트 (ISO 9000)	6
표 2.3 FTA기호	7
표 2.4 FMECA 와 FTA의 비교	11
표 3.1 BOM에 따른 보일러 부품 중요도	21
표 3.2 부품의 심각도 계산	22
표 3.3 심각도 기준	22
표 3.4 평균 사용 시간을 이용한 발생도 기준	23
표 3.5 고장 확률을 이용한 발생도 기준	23
표 3.6 부품의 발생도 계산	24
표 3.7 검출도 기준	26
표 3.8 부품의 검출도 계산	26
표 3.9 전원OFF RPN 계산	27
표 3.10 전원OFF FMECA 시트	28
표 3.11 고장원인 우선순위	29
표 3.12 부품 고장 확률	30
표 3.13 진동 고장 확률	33
표 3.14 누수 고장 확률	33
표 3.15 전원OFF 고장 확률	34
표 3.16 고장모드 우선순위	35
표 3.17 중요도에 따른 평균 사용 시간	36
표 4.1 샘플링 데이터 테이블	40
표 4.2 부품 고장 확률 테이블	41
표 4.3 BOM 테이블	41
표 4.4 FMECA 테이블	42
표 4.5 FTA 테이블	43

List of Figures

그림 2.1 BOM중요도 예	4
그림 2.2 FT 예	8
그림 2.3 FT 작성 단계	9
그림 2.4 하이브리드 앱의 구조	14
그림 2.5 하이브리드 앱의 개발 과정	15
그림 3.1 FMECA와 FTA를 이용한 고장 추정 기법	16
그림 3.2 각 요소 간의 고장 추정 관계	17
그림 3.3 고장 추정 프로세스	19
그림 3.4 고장 확률 관리 흐름도	25
그림 3.5 고장모드 전체 FTA	31
그림 3.6 고장모드 개별 FTA	32
그림 3.7 부품교체 프로세스	37
그림 4.1 시스템 전체 구성도	39
그림 4.2 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈	44
그림 4.3 HTML5 기반 시설물 관리 앱 모듈	45
그림 4.4 로그인 화면	46
그림 4.5 메인 메뉴 화면	47
그림 4.6 QR코드를 이용한 시설물 점검 관리	48
그림 4.7 Push notification을 이용한 부품 교체 알람 관리	48
그림 4.8 BOM 설정 기능	49
그림 4.9 FMECA 설정	50
그림 4.10 고장모드 FTA 설정	50
그림 4.11 보일러 샘플링 데이터	51
그림 4.12 부품 고장 확률	52
그림 4.13 시설물 고장모드 추정	52
그림 4.14 부품 평균 사용 시간 통계 차트	53

Failure Estimation Using Failure-Risk Priority of Parts in Facility Management System

Dong-Uk Park

Department of Computer Engineering,
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Advised by Keel-Soo Rhyu

Abstract

This thesis proposes a facility management system for providing information on failure of parts in order to improve maintenance of facilities. The proposed system is composed of three modules. The first module is called the failure-estimating module, which is implemented in SQL, samples failure data daily, and updates the failure probability of parts for given the failure data. The module can estimate failure modes or failure causes depending on whether or not a specific failure mode is detected. In case that the failure mode is detected, failure parts can be found out by utilizing RPN (Risk Priority Number) of the FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis). Otherwise, The failure mode is inferred from the failure probability using the FTA (Fault Tree Analysis). The second module is called the Android-based facility management App module, a hybrid app, which is implemented using PhoneGap in order to control camera devices. The third module is called the HTML5-based facilities

management Web module, which is connected from browsers of several platforms like desktops and mobile devices. The proposed system should be effective for proactive maintenance of facilities in that it can predict the failure diagnosis and seriousness through the analysis of relevant failure modes and causes based on the failure data.

KEY WORDS: Facility Management System, FMECA, FTA, Failure probability, Failure estimation



제 1 장 서론

제조 현장이나 대형 건축물에는 수많은 시설물과 장비들이 현장에 설치되어 있다. 이러한 시설물들은 구매기관, 시공사, 유지보수 업체가 다르기 때문에 관리에 많은 어려움을 겪고 있으며, 또한 시설물 유지관리를 위한 현황 및 이력을 관리할 수 있는 시스템이 도입되지 않거나 미비하여 관리부재로 인한 막대한 인적·물적 피해를 일으키고 있다. 이러한 문제 때문에 시설관리에 있어서 예방보전적인 방식보다는 사후처리 방식으로 진행되고 있는 실정이다.

시설물의 고장 분석 기법으로는 FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis)와 FTA(Fault Tree Analysis)가 주로 이용되어 왔다. FMECA는 고장모드로부터 고장 영향을 분석하여 시설물 및 관리자에게 미치는 결과를 정량화하는데 목적이 있다[1]. FMECA 평가결과는 고장부품과 고장 영향 정보의 추정에 사용되며, 보수·진단을 위한 지표로 사용할 수 있다[2]. 그러나 지금까지의 FMECA의 평가 방법에서는 전문가의 판단 아래 심각도를 결정하므로 다소 주관적인 요소가 많이 반영되고 있다. 또한 RPN(Risk Priority Number, 위험우선순위)를 결정하기 위해 사용되는 발생도는 MTBF(Mean Time Between Time, 부품 평균 사용시간)에 의해 결정되므로 단순히 시간에 대한 함수로 표현된다. 그리고 고장모드를 관리자가 인지할 수 없을 경우, FMECA를 적용하여 고장원인을 예측하기 어렵기 때문에 FTA를 이용하는 것이 바람직하다. FTA는 시설물의 각 고장모드를 최상위사상(top event)으로 하는 FT(Fault Tree)를 이용하여 기본사상의 발생확률로부터 최상위사상, 즉 고장모드의 확률을 산출한다[3]. 이 때, 각 FT의 최상위사상은 시설물의 고장모드에 해당하며, 기본사상은 각 고장모드를 발생시키는 원인 부품들로 표현하고 논리 연산을 이용하여 표현한다[4].

시설물의 효율적인 유지보수를 지원하기 위해서는 고장모드를 알 수 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 고장을 모두 추정할 수 있는 시스템을 구현해야하며, 이를 위해 본 논문에서는 FMECA와 FTA를 사용하는 방법에 관하여 기술한다. 고장모드를 아는 경우, FMECA를 적용하며, 심각도, 발생도, 검출도로 구성된 RPN을 이용하여 고장부품을 추정할 수 있다. 심각도는 시설물의 BOM(Bill Of Materials) 정보를 이용하여 각 부품

의 중요도를 기준으로 결정되며, 발생도는 부품의 기본 고장발생 확률을 이용하여 결정된다. 검출도는 시설물 관리자의 판단에 따라 고장 검출 확률에 의해 결정된다. 또한 고장모드를 알 수 없을 경우에는 FTA를 이용하며, FT를 구성하고 있는 부품의 고장발생 확률을 기반으로 하여 각 고장모드의 발생확률을 계산함으로써 실제 고장모드를 추정한다.

본 논문에서는 이상의 FMECA와 FTA를 적용하는 예로 보일러 시설물 관리 시스템의 구현에 관하여 기술한다. 먼저, 보일러 시설물의 고장모드, 시설물을 구성하는 부품들의 중요도를 포함하고 있는 BOM, 샘플링 데이터, 심각도, 발생도, 검출도, 각 고장모드의 FT 등으로 데이터베이스를 구축한다. 그리고 이들 데이터를 이용하여 고장모드 및 고장부품을 추정하기 위한 고장 추정 모듈, 그 결과를 데스크톱 및 모바일 상에서 재설정 가능하도록 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈, HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈을 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로서 BOM, FMECA와 FTA, HTML5와 모바일 어플리케이션에 대하여 기술한다. 3장에서는 고장 추정 기법에 관하여 기술하며, 관리자의 고장모드 인지여부에 따라 FMECA의 부품별 위험우선순위를 이용하여 고장부품을 추정하거나, FTA를 이용하여 고장모드를 추정하는 적용 방안을 제안한다. 4장에서는 안드로이드 기반 앱 모듈과 HTML5 기반 웹 모듈을 적용한 시설물 관리 시스템의 설계 및 구현에 관해 설명하고 그 실행결과를 제시한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

제 2 장 관련 연구

2.1 BOM

BOM(Bill Of Materials)은 제품을 구성하는 모든 부품들에 대한 명세서를 말하며, 부품이 복잡한 요소들로 구성되어 있는 조립품인 경우에는 계층적인 구조로 작성될 수 있다[5]. 최근에는 부품의 단순한 리스트뿐만 아니라 제품의 정보를 포함하는 구조로 확장되고 있는 추세이며, 일반적인 BOM 구성은 표 2.1과 같다. 상위레벨은 관리코드, 시설물코드, 부품코드로 구성되며, 하위 레벨은 부품코드로 구성된다. 구성 정보는 부품명, 수량, 중요도 등의 정보를 포함하며, 수량은 상위 레벨을 구성하는 부품의 개수를 나타내고, 중요도는 상위 레벨에 대한 부품의 중요성을 나타낸다.

표 2.1 BOM 구성
Table 2.1 BOM configurations

분류	항목
상위 레벨	관리 코드, 시설물코드(or 부품코드)
하위 레벨	부품코드
구성 정보	부품명, 수량, 중요도, 사양, 제조사

시설물의 목적과 특성에 따라 BOM은 여러 형태가 될 수 있으며, BOM을 기준으로 각 구성 장비 또는 부품에 대한 중요도를 부여한 후, 중요도 트리를 이용하여 시설물에 대한 부품의 레벨별 중요도를 구할 수 있다[6]. 중요도 부여에 있어서 주의할 사항은 각 레벨의 중요도의 합은 항상 1이어야 한다[6]. 그림 2.1은 시설물을 구성하는 장비와 부품을 간략히 구성한 예로 시설물을 구성하는 장비 A와 B의 중요도의 합은 $0.7 + 0.3 = 1$ 이다. 마찬가지로 특정 장비에 대한 하위 레벨의 중요도의 합 역시 1이어야 하며, 장비 A에 대하여 부품 A1, A2, A3의 중요도의 합은 $0.5 + 0.3 + 0.2 = 1$ 로 나타난다. 그리고 시설물에 대한 부품의 중요도는 해당 노드에서 루트(시설물)까지의 해당 레벨과 그 상위 레벨의 중요도의 곱으로 나타낼 수 있으며, 전체 시설물에 대한 모든

기본 부품의 중요도의 총합은 1이어야 한다. 시설물 기준으로 부품의 총 중요도의 합은 $0.5 \times 0.7 + 0.3 \times 0.7 + 0.2 \times 0.7 + 0.6 \times 0.3 + 0.4 \times 0.3 = 1$ 로서 전체 시설물에 대한 모든 부품의 중요도의 총합은 1임을 알 수 있다. 또한 전체 시설물에 대한 부품 A1의 중요도는 $0.5 \times 0.7 = 0.35$ 와 같이 나타나며, 부품 B1의 중요도는 $0.3 \times 0.6 = 0.18$ 로 나타난다. 장비 A에 대한 A1의 중요도 0.5 와 장비B와 대한 B1의 중요도 0.6은 서로 상대적인 것으로 직접 비교할 수 없지만 시설물 기준으로 A1의 중요도 0.35 는 B1의 중요도 0.18보다 크기 때문에 부품 A1이 B1보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

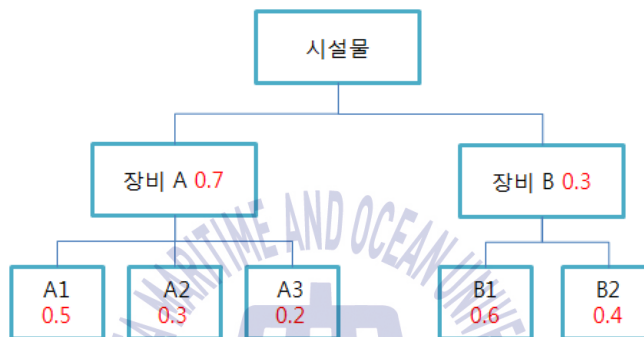


그림 2.1 BOM 중요도 예

Fig. 2.1 An example of the BOM importance

2.2 FMECA와 FTA

(1) FMECA

FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis)는 처음 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)로부터 시작하였으며, FMEA는 1960년대 중반 항공우주공학인 아폴로 발사 계획에서 처음 활용하였다[7]. 이후 1974년에 미 해군에서 FMEA 활용에 관한 규격으로 MIL-STD-1629를 만들어 사용하였으며, 1970년대 자동차 업계의 경영 적자 누적과 제조물 책임 비용에 대응하기 위하여 FMEA 개념을 적극적으로 도입하면서 전 산업계에 전파되기 시작하였다[7]. FMECA는 FMEA를 기반으로 치명도를 함께 고려하는 기법을 의미하나, 지금은 그 용어에 대한 의미 차이를 크게 두지 않고 일반적으로 혼용하여 사용한다.

FMECA는 고장 분석 기법으로서 제품개발 또는 공정개발 시에 많이 사용되고 있으며, 시스템이 어떤 고장모드를 발생하였을 경우, 고장원인을 부품수준으로부터 파악하여 그 영향을 탐색하는 기법이다[8]. 또한 고장이 시스템에 어떠한 영향을 주는가를 분석하여 큰 영향을 미치는 위험요인을 도출할 수 있으며, 이를 바탕으로 중요한 고장모드를 예방할 수 있는 대책 수립을 수립할 수 있다.

RPN(Risk Priority Number)이란 FMECA 실행 과정에서 주로 사용하는 잠재적 고장의 상대적 평가 기준으로 위험우선순위를 나타낸다[9]. RPN은 심각도(severity), 발생도(occurrence), 검출도(detection)의 세 가지 요소로 구성되며, 각 요소의 곱으로 나타낼 수 있다. 심각도는 고장모드 발생 시, 시스템에 미칠 수 있는 영향의 심각성 또는 시설물에서 부품의 중요도를 나타내며, 심각도가 높을수록 시설물에서 차지하는 비중이 크다. 발생도는 고장의 발생 가능성을 나타내며, 발생도가 높을수록 해당 고장모드의 발생확률이 높다. 검출도는 고장의 검출 능력을 나타내며, 검출도가 높을수록 검출 가능성이 낮다. 심각도, 발생도, 검출도는 각각 1~10의 점수로 표현되며, RPN은 1~1000의 수치로 표현한다. 다만 우주 항공 산업분야와 같이 특수한 상황에 따라서 검출도를 생략하고 심각도와 발생도만 사용하는 경우도 있다. FMECA의 종류는 사용목적에 따라 여러 가지가 있으며, 그 예로 설계 단계에서 사용하는 시트는 표 2.2 와 같다. 부품 또는 기능에 관한 고장모드를 정리한 후, 고장모드와 고장영향을 기준으로 심각도를 구한다. 잠재원인 또는 고장 메커니즘을 기준으로 발생도를 구하며, 검출도 가이드라인을 참고하여 검출도를 구한 후, RPN을 계산한다. 이후 관리자는 RPN을 참고하여 권고 대책, 책임자 및 처리기한을 기입하고 처리결과에 따라 위험우선순위를 재계산한다.

표 2.2 설계 FMECA 시트 (ISO 9000)

Table 2.2 Sheet of design FMECA (ISO 9000)

N O	부 품/ 기 능	잠 재 고 장 모 드	잠 재 고 장 영 향	심 각 도	잠 재 원 인 / 메 카 니 즘	발 생 도	현 재 관 리 방 법	검 출 도	RP N	권 고 대 책	책 임 및 기 한	대책 결과				
												대 책	S E V	O C C	D E T	R P N
1																
2																




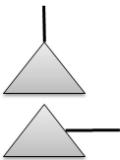


(2) FTA

FTA(Fault Tree Analysis)는 시스템 안전공학의 대표적인 방법으로서 1962년 미국 벨 연구소에서 군용 목적의 안정성 평가를 목적으로 처음 고안되었다[10]. 이 방법은 미사일 발사 제어시스템에서의 우발사고를 예측하는 문제 해결방법으로서 안정성 해석에 이용되었다. 이후 보잉사에 의해 컴퓨터를 사용하는 시뮬레이션이 가능하도록 수정하는 등, 주로 보잉사를 중심으로 하는 항공 우주산업과 원자력산업을 시작으로 기타의 산업 안전 분야에 적용할 수 있음이 인식되어 1965년부터 산업안전 분야에 소개되었고 오늘날 원자력 산업, 화학 플랜트, 교통 시스템 등에도 안정성 해석에 많은 효과가 입증되었다[10].

FTA는 표 2.3의 FTA 기호를 이용하여 고장, 불량 등 원치 않는 사상(evnet)을 정의하고 시스템의 작동과 환경을 분석한 후, 고장의 발생 원인과 인과관계를 논리기호(AND, OR)를 사용하여 나뭇가지 모양의 그림으로 나타낸 FT(Fault Tree)를 표현한다[11]. 이를 바탕으로 시스템의 주요 고장원인과 고장 발생확률을 구함으로써 시스템 고장에 큰 영향을 주는 원인을 찾아 해결할 수 있다[12]. 그림 2.2는 바람 빠진 타이어라는 최상위사상에 관한 FT의 예를 나타낸 것으로 타이어 고장과 도로 파편이라는 1차 원인으로 표현한다. 이 때, 타이어 고장은 중간사상으로서 바람 빠진 타이어의 원인인 동시에 타이어 결함과 타이어 마모를 원인으로 가지는 결과로 나타난다. 바람 빠진 타이어의 FT에서 타이어 결함과 타이어 마모의 확률 알 수 있는 경우, 타이어 고장의 확률 알 수 있으며, 도로 파편의 확률까지 알 경우, 바람 빠진 타이어의 확률을 알 수 있

다.

표 2.3 FTA기호
Table 2.3 Symbols of FTA

기호	설명	내용
	사상 (event)	<ul style="list-style-type: none"> 최상위사상 및 중간사상에 해당하며 일반적으로 고장, 불량 등 원치 않는 사상 논리기호의 입력 또는 출력이 존재
	기본사상 (basic event)	<ul style="list-style-type: none"> 더 이상 전개할 수 없는 기본적인 사상으로 최하위 사상 또는 기본사상이라고 하며 논리기호의 입력만 존재 하며 출력은 없다. 기본사상의 발생확률이 존재한
	미전개 사상 (undevelopped event)	<ul style="list-style-type: none"> 정보부족 등의 이유로 더 이상 분석되지 않거나 또는 분석의 필요가 없는 생략현상을 나타내는 기호로 논리게이트에 적용되는 제약이나 조건을 의미
	연결기호 (transfer symbol)	<ul style="list-style-type: none"> 동일한 FT속에서 내용이 같은 타부분과의 사이에 전이를 나타내는 기호 삼각형의 위쪽에 선이 나오는 경우는 타부분에서의 전입 삼각형의 옆쪽에 선이 나오는 경우는 타부분으로의 전출
	AND gate	<ul style="list-style-type: none"> 하위의 사건을 모두 만족하는 경우에 사용하는 논리게이트
	OR gate	<ul style="list-style-type: none"> 하위의 사건 중 하나라도 만족하면 사용하는 논리게이트

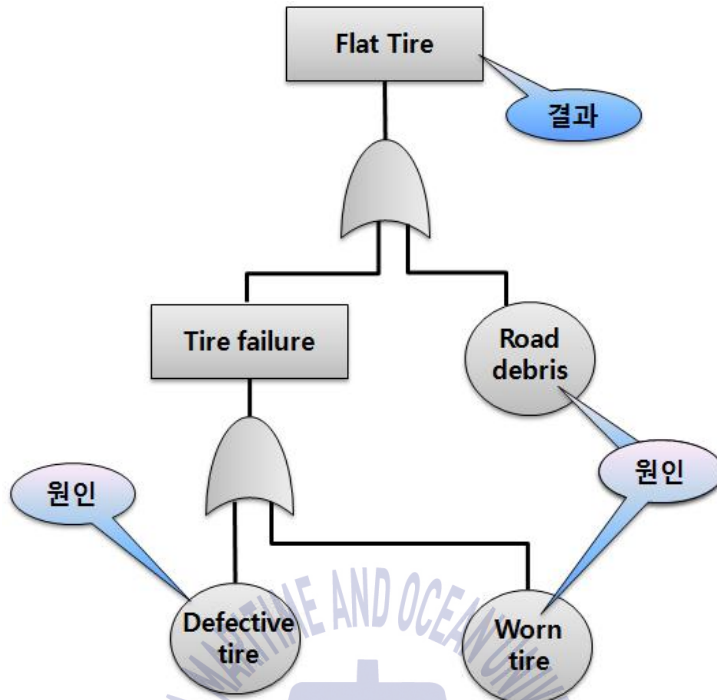


그림 2.2 FT 예

Fig. 2.2 An example of FT

FT에서 최상위사상 선정은 가장 중요하다. FTA는 최상위사상이 발생하는 인과관계를 하향식으로 파악하기 때문에 최상위사상을 어떻게 정하는가에 따라 분석 방향이 결정되며, 최상위사상은 1차 원인을 충분히 고려하여 선정한다. 일반적으로 최상위사상 선정의 경우 성공을 평가하는 요소로는 모델링하기에 연속적인 변수들이 많으므로 시스템의 성공보다는 실패를 정의하여 최상위사상을 선정한다[13].

FT작성 방법은 그림 2.3과 같으며, 최상위사상 선정 후, 최상위사상에 대한 1차 원인을 분석하고, 최상위사상과 1차 원인과의 관계를 논리 게이트(gate)로 연결한다. 다음, 1차 원인이 기본사상이 아닐 경우, 1차 원인에 대한 2차 원인을 분석한 후, 1차 원인과 2차 원인에 대한 관계를 논리 게이트로 연결한다. 마찬가지로 원인을 더 이상 분해할 수 없는 기본사상까지 반복적으로 분석한다.

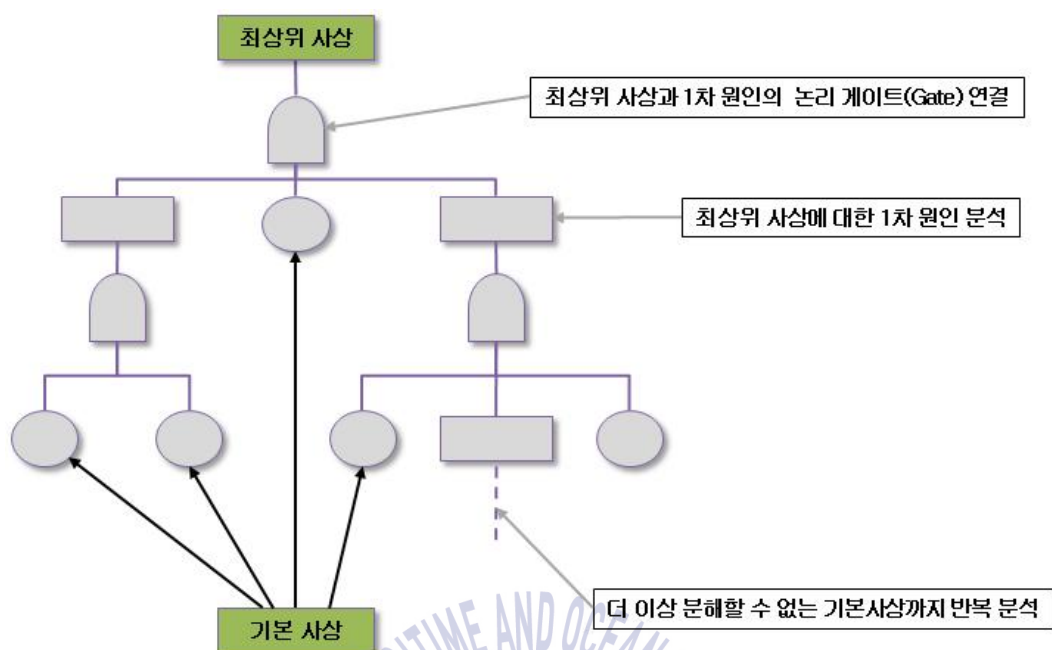


그림 2.3 FT 작성 단계
Fig. 2.3 Steps of FT creation

FT작성 후, 기본사상의 확률로부터 최상위사상 또는 중간사상의 확률을 계산할 수 있다. FT를 수식으로 표현하거나 간소화하기 위하여 부울대수(Boolean algebra)를 사용하며, 이 방법은 논리연산의 수단으로서 논리곱과 논리합을 사용하여 표현하고, 이들의 확률을 이용하여 FT의 최상위사상이나 중간사상의 발생확률을 계산할 수 있다[14]. 이때 FT 내의 2개소 이상에 동일 한 기본사상이 포함되는 경우의 확률계산은 부울대수에 의한 정리를 행한 후에 실시하지 않을 경우, 전혀 다른 결과가 나올 수 있으므로 주의 를 필요로 한다[14].

한편 FT가 다양한 기본사상으로 구성된 경우가 많은데 이때는 그것을 몇 개의 부분 FT로 분해하여 각 부분 FT를 해석한 후 전체의 FT를 해석하는 것이 효율적이다[15]. 이와 같은 방법으로 구성된 FT는 AND와 OR 게이트로 이루어지며, 이들의 해석적 방법에 의한 사상발생확률은 식 (1)~(2)와 같이 표시할 수 있고, 기본사상은 서로 통계적으로 독립되어 있다고 가정한 접근 방법이다. n 개의 기본사상이 AND 게이트 결합으로 최상위사상을 발생시킨다고 할 때, 최상위사상이 발생할 확률은 식 (1)과 같으며, n 개의 기본사상이 OR 게이트 결합일 경우, 최상위사상이 발생할 확률은 식 (2)와 같다.

$$F = F_1 \times F_2 \times \cdots \times F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (1)$$

$$F = 1 - [1 - F_1] \times [1 - F_2] \times \cdots \times [1 - F_n] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \quad (2)$$

(3) FMECA와 FTA의 비교

FMECA의 특징은 시설물 동작에 문제가 되는 고장모드와 고장영향에 관한 일관성 있는 평가가 가능하고 시스템 문제점의 조기 발견 및 대처가 가능하다. 그리고 중요 부품 리스트의 결정이 가능하고 문제 해결을 위한 이상 조치 메뉴얼(trouble shooting manual) 작성이 가능하다[16]. FMECA 작성에 있어서 신뢰성 있는 항목의 선정에 주의하여야 하고, FMECA를 이용하여 신뢰성 지식 베이스를 기반으로 시설물 고장예방에 대한 노하우를 얻을 수 있다.

FTA는 다른 분석기법과 달리 최상위사상의 고장모드에서 기본사상의 고장원인으로 진행되는 top-down 방식으로 선정하여 최상위사상의 발생확률을 FT작성을 통해서 산출할 수 있다[17]. 따라서 최상위사상의 발생확률의 정량적 해석이 가능하고 필요에 따라서 정성적 해석과 고장의 직접적 원인 분석만으로도 사용이 가능하다. 또한 기본사상의 발생확률로서 중간사상 및 최상위사상에 대한 확률을 차례로 계산함으로써 시스템의 고장원인의 연연적인 추론과 분석이 가능한 방법으로, 사실과 현상이 복잡한 경우 인과관계를 알기 쉽다는 장점이 있다[17].

FMECA는 기입용지에 의한 차트(chart)해석법이고 FTA는 FT에 의한 도식해석법으로서, 해석 방법이나 해석도구의 모양이 다르며 FMECA와 FTA의 차이점은 표 2.4와 같다. FTA는 FT에 기본사상 발생확률을 기입하여 수학적으로 해석하기 쉽도록 하고 있으나 현재, 국내에서는 그에 대한 자료가 부족하여, FTA를 실시하기에 어려움이 있을 뿐만 아니라, 사람의 실수, 에러, 시스템 고장률, 부품 신뢰도에 대한 데이터베이스가 선행되어야 하기 때문에 널리 쓰이지 못하고 있다.

표 2.4 FMECA와 FTA의 비교
Table 2.4 Comparison of FMECA and FTA

항목	FMECA	FTA
목적	<ul style="list-style-type: none"> 고장부품 추정 부품의 고장모드를 행태별로 해석하여 시스템이나 시설물에 어떤 영향을 미치는가를 분석하는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 고장모드 추정 시스템이나 시설물에 발생하는 고장이나 결함의 원인을 논리적으로 규명하는 방법
해석 방법	<ul style="list-style-type: none"> 부품의 고장모드를 검토하여 해당 고장이 발생할 경우 시스템이나 시설물의 작동이나 관리자에게 어떤 영향을 주는가를 분석하고, 이를 해결 할 수 있는 대책을 마련한다. bottom-up 방식 	<ul style="list-style-type: none"> 최상위사상을 일으키는 원인(기본사상)을 파악하여, 논리기호를 이용한 FT를 작성하고 고장의 근본원인을 제거 할 수 있는 대책을 마련한다. top-down 방식
입력 자료	<ul style="list-style-type: none"> 시스템이나 시설물의 구성, 동작에 관련된 자료 기능 블록 다이어그램 신뢰성 블록 다이어그램 고장모드 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템이나 시설물의 동작이나 운전에 관련된 자료 시스템의 결함 기본사상의 확률 비전개 사상의 확률
출력 양식	<ul style="list-style-type: none"> FMECA 양식 	<ul style="list-style-type: none"> FT, 최상위사상의 확률
특징	<ul style="list-style-type: none"> 하드웨어나 단일 고장분석에 용이 부품의 고장에 대한 검토 가능 시스템의 고장을 사전에 조사가 가능 효과적인 설계변경 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 최상위사상이 발생하는 메커니즘을 규명할 수 있음 시스템의 신뢰성 블록다이어그램으로도 사용가능

2.3 HTML5와 모바일 어플리케이션

(1) HTML5

HTML5(HyperText Markup Language Ver. 5)는 HTML의 차기 주요 제안 버전으로 현재 사용되고 있는 월드 와이드 웹(World Wide Web)의 핵심 마크업 언어 표준인 HTML을 개선한 언어로서, 단순 텍스트와 하이퍼링크만 표시하던 HTML이 복잡한 어플리케이션까지 제공할 수 있는 웹 어플리케이션 플랫폼으로 진화한 형태라고 할 수 있다[18].

2004년 7월 WHATWG(Web Hypertext Application Technology Working Group)에서 웹 애플리케이션 1.0이라는 이름으로 세부 명세 작업을 시작하였으며, HTML 4.01, XHTML 1.0, DOM Level 2 HTML에 대한 차기 표준 제안이다. 최신 멀티미디어 콘텐츠를 브라우저에서 쉽고 용이하게 볼 수 있게 하는 것을 목적으로 한, 차세대 웹 프로그래밍 언어 규격으로서, 이는 국내 전자결재에 많이 사용하고 있는 ActiveX를 별도로 설치할 필요가 없고, Adobe flash나 Silver light, Java FX가 없어도 웹 브라우저에서 그래픽 효과를 얻을 수 있기 때문에 음악이나 동영상파일의 자유로운 감상이 가능해졌다. 최근 W3C(World Wide Web Consortium)는 2014년 10월 28일 HTML 5 표준안을 확정했다고 발표했다[19].

HTML5가 기존의 HTML과 가장 다른 점은 웹 어플리케이션 개발을 위한 표준 개발을 목표로 하고 있다는 것이다. 따라서 HTML5는 새로운 마크업 기능과 함께 다양한 API(Application Programming Interface)기능을 제공하고 있으며, 웹 어플리케이션 개발 지원을 위해서는 기존의 HTML 규격을 하나로 포괄하기 힘들고 다양한 기능이 요구됨에 따라, 실제 규격 작업은 HTML 규격 외에도 여러 개의 문서로 분리하여 개발되고 있다. 또한, HTML5는 크로스 플랫폼(cross-platform)의 핵심 기술로 활용될 수 있다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 즉 HTML5는 특정 플랫폼이나 디바이스에 종속되지 않고 편리하게 서비스 제공이 가능하다는 특징을 가지고 있기 때문에 PC, 스마트폰, 태블릿PC, 스마트TV 등의 다양한 디바이스와 Windows, Mac, Linu×, iOS, Android, WindowsMobile, Symbian 등의 다양한 플랫폼에서 정보 콘텐츠를 표준화된 방법으로 제공할 수 있다.

(2) 모바일 어플리케이션

모바일 애플리케이션이란 안드로이드 기기나 아이폰 같은 모바일 기기의 운영체제에 적합하게 디자인되어 모바일기기 자체의 기능을 확장 및 향상시키며, 인터넷 접속, 개인정보 관리, 휴대용 멀티플레이어 기능을 갖춘 스마트폰, 혹은 휴대용 미디어 플레이어 아이팟(iPod) 등과 같은 모바일 기기를 통해 구동되는 소프트웨어를 지칭한다[20]. 모바일 어플리케이션은 네이티브 앱(native app)과 웹 앱(web app) 두가지로 분류하였으나 이후, 네이티브 앱과 웹 앱의 장점을 결합한 하이브리드 앱(hybrid app)을 추가하여 크게 3가지로 나눌 수 있다[21].

네이티브 앱은 일반적으로 우리가 흔히 말하는 어플리케이션을 지칭하며, 주로 특화된 모바일 장치에 최적화된 언어로 개발된 앱 형태이다. 안드로이드 SDK¹⁾를 이용하여 Java언어로 만드는 Android 앱과 iOS SDK²⁾를 이용하여 Objective-C 언어로 만드는 아이폰 앱이 있으며, 네이티브 앱의 개발자는 앱스토어에서 판매할 수 있고 관리자는 앱을 다운받아 사용할 수 있다. 그리고 네이티브 앱은 모바일 기기에 저장된 기기의 고유정보를 변경할 수 있으며, 각종 카메라, GPS 등과 같은 디바이스 컨트롤이 용이하다. 네이티브 앱은 모바일 운영체제의 커널과 UI 프레임워크(user interface framework)가 제공하는 서비스를 직접 호출하여 실행하므로 실행속도가 매우 빠르고 안정적이나 개발 환경에 있어서 전용OS 및 전용 개발 툴을 필요로 하며 각 플랫폼 별로 별도의 개발이 필요하다. 그리고 유지보수 및 버전 업에 대한 절차가 복잡하고, 플랫폼 전용 API의 난이도가 어렵다는 단점이 있다.

웹 앱은 HTML5, jQuery, CSS, JSP, PHP, ASP 등의 웹 기술로 개발되어 모바일 브라우저에서 실행하는 모바일 웹의 특징을 가지면서 네이티브 앱의 장점도 가지고 있다. 일반적인 모바일 웹이 풀 브라우징 방식으로 페이지를 이동해 속도가 느린 대신 웹 앱은 단일 페이지 형식으로 화면을 전환해 모바일 앱의 속도를 개선하였다. 웹 앱은 HTML5로 하나의 버전만 개발하면 여러 종류의 브라우저에서 사용이 가능하며, HTML 형태로 개발하여 멀티플랫폼 지원이 가능한 장점이 있다. 하지만 웹 앱은 네이티브 앱 처럼 설치형이 아니기 때문에 관리자가 브라우저를 열고 직접 URL로 접근해야 하는 불편함이 있으며, 네이티브 앱에 비하여 상대적인 속도 한계가 있고 모바일 기기의 고

-
- 1) Android Software Development Kit의 약자로서 개발을 위한 접근을 허용하는 안드로이드 API, 소스 코드를 실행하거나 어플리케이션으로 만들기 위한 컴파일러나 에뮬레이터, API사용법을 위한 샘플 코드, SDK 사용을 위한 패키지나 클래스에 대한 설명 등이 포함되어 있다.
 - 2) iOS Software Development Kit의 약자로서 iOS 개발을 위한 애플의 소프트웨어 개발 키트다. Xcode 툴체인과 아이폰 시뮬레이터가 등이 포함되어 있다.

유정보를 사용할 수 없으며 디바이스 특화기능에 사용에 대한 자유도가 낮은 단점이 있다.

하이브리드 앱은 웹 앱의 단점을 보완한 것으로 웹과 네이티브 코드의 결합으로 HTML5, CSS, 자바스크립트 등의 웹 기술로 구현된 웹 앱을 Objective-C, Java, C# 등의 네이티브 코드의 네이티브 앱으로 포장하는 앱 개발 방식을 말한다. 앱의 기반이 되는 실제 콘텐츠 영역은 HTML5 기반의 웹 기술로 개발되었지만, 앱 배포에 필요한 패키징 처리는 개발 플랫폼 안에서 처리하여 모바일에 최적화된 언어로 만든 네이티브 앱처럼 작동한다. 이런 하이브리드 앱은 네이티브 앱의 형태를 띠고 있어서 앱스토어에서 다운로드 설치할 수 있으며, 모바일 기기의 고유정보를 이용할 수 있고 디바이스를 제어할 수 있다. 하이브리드 앱의 크로스 플랫폼 종류는 폰갭(PhoneGap), 티타늄(Titanium), 앱스프레소(Appspresso) 등이 있으며, 크로스 플랫폼 앱 프레임워크를 사용하여 하이브리드 앱을 구현하고, 카메라의 네이티브 기능을 이용하여 QR코드를 인식하여 시설물 관련 정보를 가져올 수 있다. 하이브리드 앱의 UI(User Interface)구현에 있어서, jQueryMobile 프레임워크는 모바일 기기에 최적화된 UX(User eXperience)를 제공하며, 터치이벤트나 버튼, 리스트 등의 컴포넌트 UI등의 정보가 js파일 안에 정의되어 있으므로 필요한 부분을 사용할 수 있다.

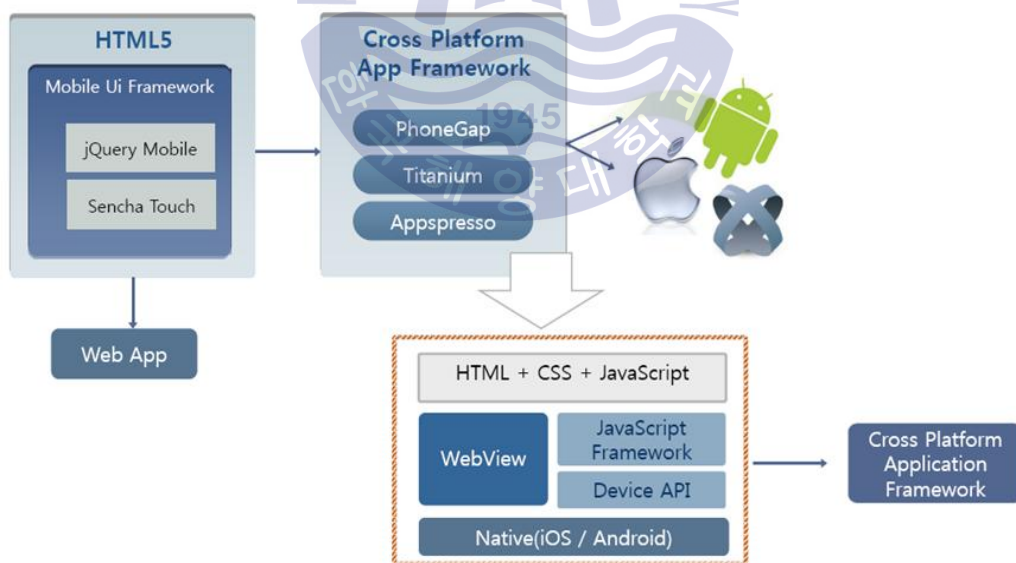


그림 2.4 하이브리드 앱의 구조

Fig. 2.4 The structure of the hybrid app

폰갭은 웹뷰(WebView)에서 스마트폰 디바이스에 접근하여, 카메라나 마이크 제어 같은 웹 브라우저 고유 기능 이외의 기능을 실행할 수 있는 디바이스 콘트롤 인터페이스를 제공하는 대표적인 하이브리드 앱 개발 솔루션이다. 캐나다에 있는 Nitobi에서 개발하였으며, 2011년 Adobe사가 인수했다. Adobe사의 인수 후에 아파치(Apache) 라이선스 적용으로 오픈소스 정책을 더욱 강화했으며, 각종 추가 기능이 플러그인 형태로 개발되어 커뮤니티에 공유되고 있는 것이 장점이다. 폰갭의 기반이 되는 소프트웨어는 아파치 코도바(Apache Cordova)이며, 폰갭을 이용한 하이브리드 앱을 개발하는 과정을 간략하게 나타내면 **그림 2.5**와 같다. 먼저, 웹 표준 기술을 이용하여 애플리케이션을 개발한 후, 폰갭을 이용하여 각 플랫폼별 프로젝트를 구성한 다음, 애플리케이션을 앱 스토어에 배포한다. 현재 폰갭은 가장 많은 스마트폰 플랫폼(iOS, Android, Windows Phone, Blackberry 등 7개 운영체제)을 지원하고, 제품 완성도도 높기 때문에 하이브리드 앱 플랫폼 중 가장 큰 경쟁력을 가지고 있다.



그림 2.5 하이브리드 앱의 개발 과정

Fig. 2.5 Development of the hybrid app

제 3 장 고장 추정 기법

본 논문에서는 그림 3.1과 같이 관리자가 고장모드를 인지하는지의 여부에 따라 FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis)와 FTA(Fault Tree Analysis)를 선택하여 고장 추정 기법을 적용한다. 고장모드를 아는 경우, FMECA를 적용하며, RPN(Risk Priority Number)을 이용하여 고장부품을 추정한다. 고장모드를 모르는 경우, FTA를 이용하여 각 고장모드의 발생확률의 논리연산으로부터 고장모드를 추정할 수 있으며, 고장모드를 추정한 후 고장원인을 모를 경우 FMECA를 적용하여 고장부품을 확정한다.

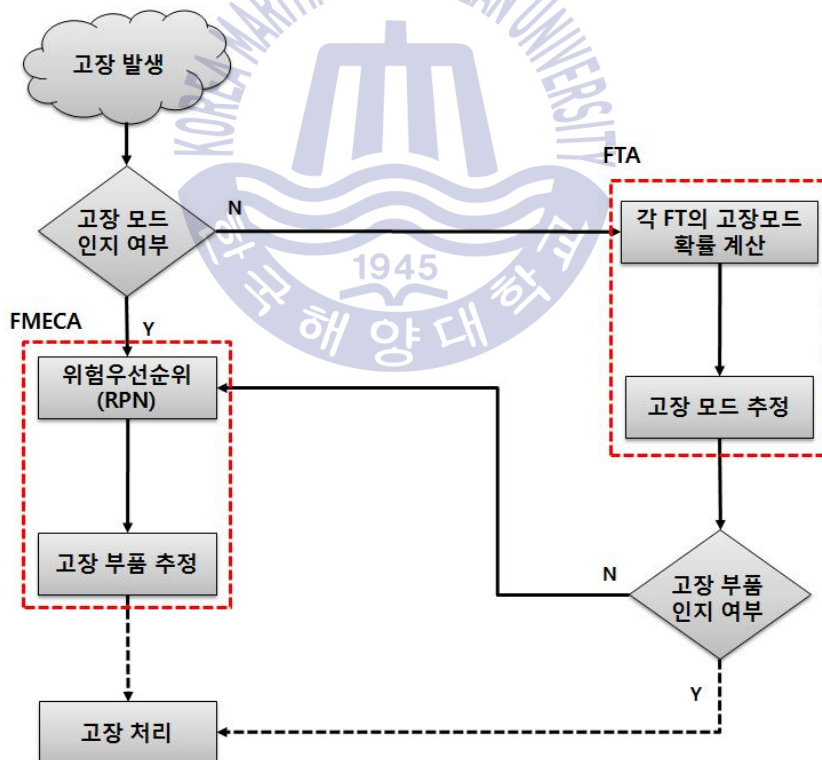


그림 3.1 FMECA와 FTA를 이용한 고장 추정 기법

Fig. 3.1 Failure-estimating techniques using FMECA and FTA

본 논문에서는 **그림 3.2**와 같이 FMECA의 중요요소인 RPN을 도입하고, 시설물을 구성하는 부품의 BOM(Bill Of Materials)정보를 이용하여 각 부품의 중요도를 기준으로 심각도를 결정한다. 그리고 샘플링 데이터를 분석하여 구한 부품의 고장발생 확률을 기준으로 발생도를 결정하며, 관리자의 고장 검출 가능성을 기준으로 검출도를 결정한다. 관리자는 고장모드에 따른 부품의 RPN을 이용하여 특정 고장모드를 발생시키는 부품의 점검 우선순위를 확인할 수 있다. 그리고 FTA를 적용함에 있어서 최상위사상은 시설물의 각 고장모드에 해당하며, 기본사상은 각 고장모드를 발생시키는 원인 부품들로 표현한다. 관리자는 부품의 고장발생 확률을 기준으로 게이트 연산에 의해 고장모드의 발생확률을 알 수 있고, 고장모드를 추정한다. **그림 3.2**에서 알 수 있듯이, 부품의 고장 발생 확률은 FMECA의 발생도 기준으로 사용하며, 또한 FT(Fault Tree)의 기본사상의 확률로 사용한다.

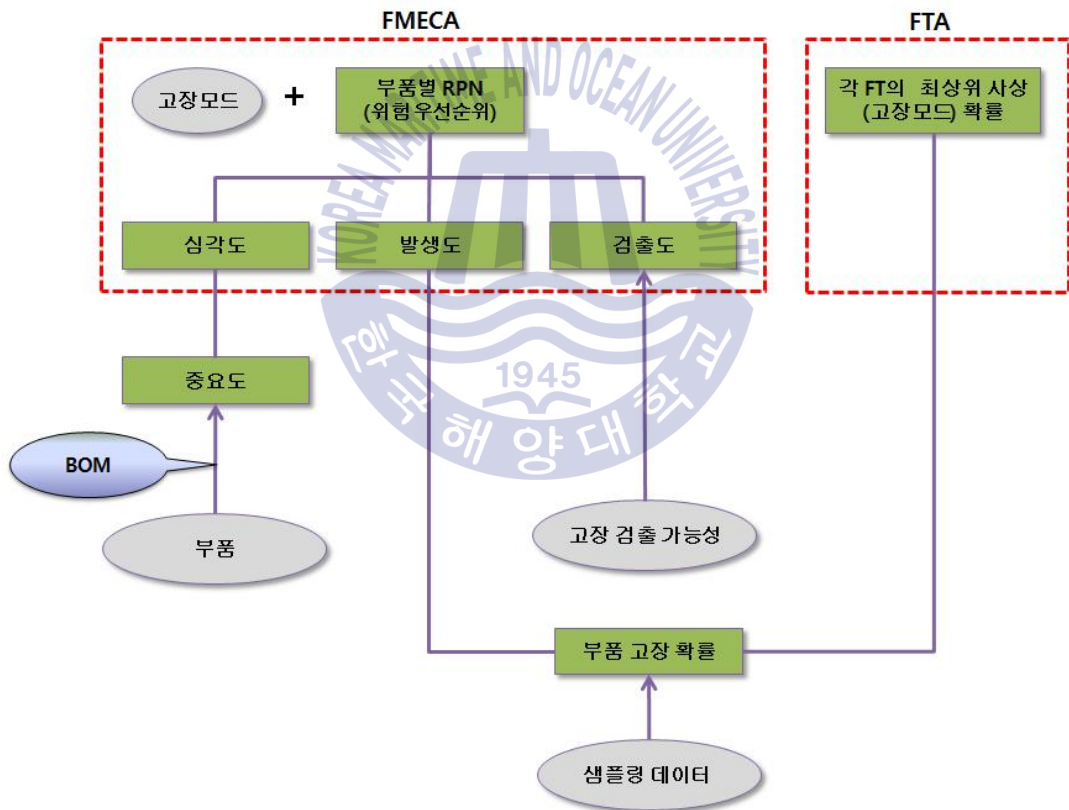


그림 3.2 각 요소 간의 고장 추정 관계

Fig. 3.2 Relationship of failure estimating in elements

고장 추정 프로세스는 **그림 3.3**과 같다. 관리자가 등록한 샘플링 데이터를 수집하여 데이터베이스의 저장 프로시저(stored procedure)에 의해 부품의 고장 확률을 계산한다. 관리자는 고장 확률과 미리 등록한 각 고장모드의 FT를 이용하여 계산된 고장모드별 발생확률을 기준으로 결정된 고장모드 우선순위를 참고하여 고장모드를 선택한다.

고장모드의 원인 탐색에 있어서 탐색시간 및 비용 등의 문제 등의 문제로 우선순위를 결정하게 되는데, 논문에서는 부품별 RPN을 이용하여 고장모드 탐색 및 고장모드에 따른 원인 부품의 우선순위를 설정한다. RPN은 고장모드에 따른 심각도, 발생도, 검출도 3가지 요소의 점수에 의해 결정되며, 관리자는 고장원인을 결정한 후, 요구 수준과 비교하여 고장 처리 및 주요 항목에 대한 대책을 수립할 수 있다.



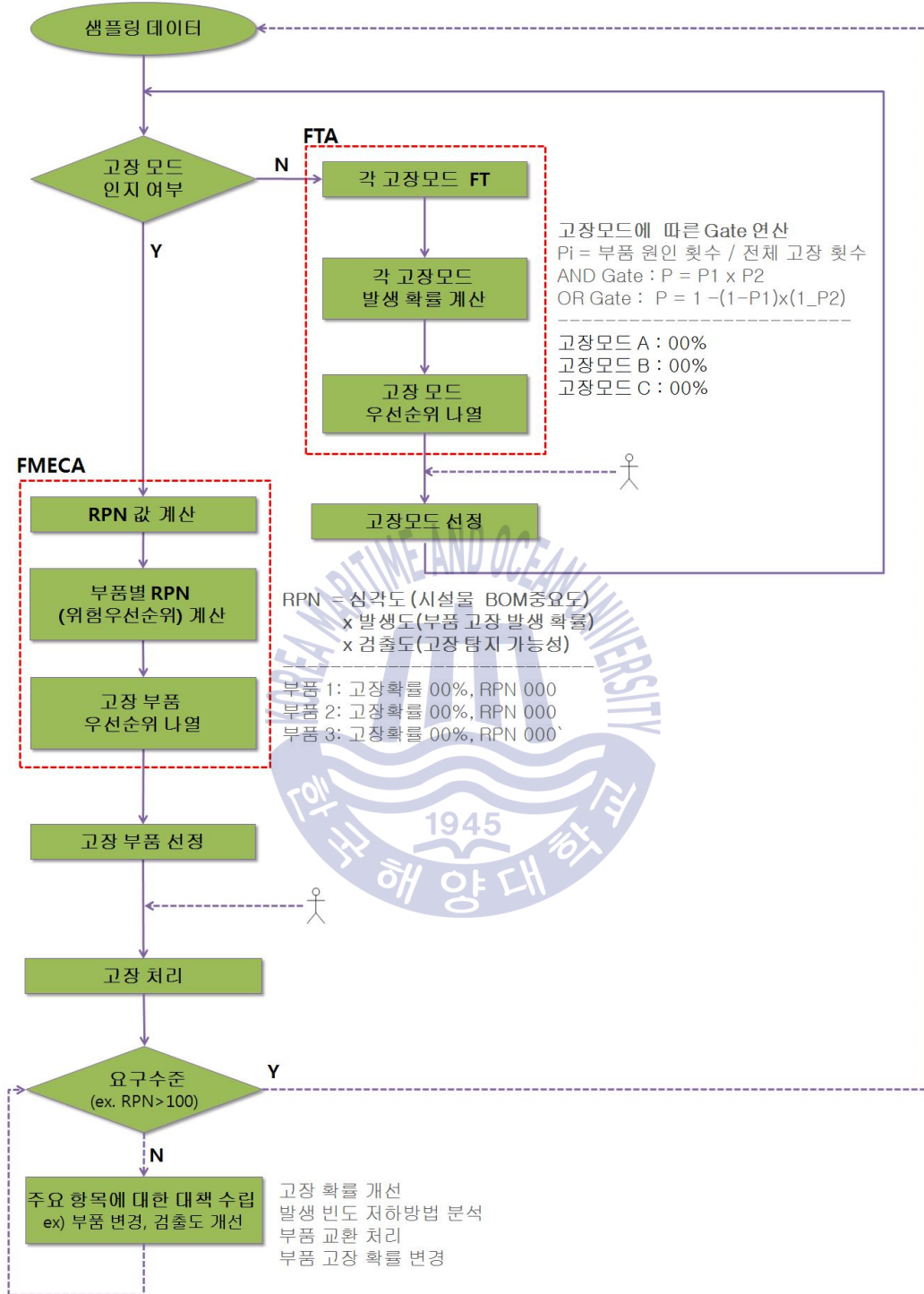


그림 3.3 고장 추정 프로세스
Fig. 3.3 Processes of the failure-estimating

3.1 FMECA를 이용한 고장 추정

FMECA의 중요요소인 RPN은 심각도(severity), 발생도(occurrence), 검출도(detection)의 세 가지 요소로 구성되고, 각 요소의 곱으로 표현한다. 관리자는 RPN을 이용한 고장 원인 우선순위를 참고하여 고장을 추정한다.

(1) 심각도

심각도는 시설물의 BOM을 이용하여 구한 부품의 중요도를 기준으로 결정한다. 표 3.1 (a)에서 보일러는 크게 6개의 장비로 구성되어 있고 각각의 장비는 고유의 중요도를 가진다. 장비는 표 3.1 (b)~(d)와 같이 하위 레벨 부품으로 구성된 경우 중요도 트리를 전개할 수 있으며, 하위 부품이 없을 경우 장비는 부품과 같은 레벨로 취급한다.

표 3.2와 같이 시설물을 구성하는 부품의 중요도를 계산한 후, 시설물에 대한 부품의 최종 중요도를 기준으로 표 3.3의 심각도 기준 테이블을 참고하여 시설물 보일러에 대한 부품들의 심각도 점수를 선정한다. 시설물의 1차 부품(또는 장비)의 중요도의 합은 $0.25 + 0.2 + 0.15 + 0.05 + 0.05 + 0.12 + 0.08 = 1.00$ 이고, 장비 가스압력 게이지의 부품의 중요도의 합 역시 $0.5 + 0.15 + 0.2 + 0.15 = 1.00$ 로 나타난다.

RPN 계산 시, 부품의 중요도는 시설물을 구성하는 각 상위단계 부품(또는 장비)의 중요도와 곱으로 나타낸다. 예를 들어, 로타리 조인트의 경우, 시설물을 구성하는 가스 압력 게이지의 중요도는 0.25이고 가스 압력 게이지를 구성하는 로타리 조인트의 중요도는 0.5이므로 시설물 보일러에 대한 부품 로타리 조인트의 중요도는 $0.25 \times 0.5 = 0.125$ 로 나타나고, 이 때 심각도는 표 3.2에서 알 수 있듯이 3이다. 그리고 심각도가 높은 부품은 위험우선순위와 상관없이 주의를 요구하는 항목으로 항상 상위 리스트에 출력하며, 일반적으로 8이상일 경우 심각도가 높은 것으로 간주한다.

표 3.1 BOM에 따른 보일러의 부품 중요도

Table 3.1 Parts of boiler in accordance with the degree of importance by BOM

(a) 레벨 1

No	구분	상위품목명	부품코드	부품명	중요도
1	시설물	보일러	PART-001	가스압력 게이지	0.25
2	시설물	보일러	PART-002	가스압력 스위치	0.20
3	시설물	보일러	PART-073	보일러 압력계	0.15
4	시설물	보일러	PART-074	보일러 맨홀 개스킷	0.05
5	시설물	보일러	PART-075	보일러 소재구 개스킷	0.05
6	시설물	보일러	PART-091	연료필터	0.12
7	시설물	보일러	PART-126	제어전원 차단기	0.10
8	시설물	보일러	PART-130	착화 애자봉	0.08
Total					1.00

(b) 레벨2, 가스압력 게이지 부품

No	구분	상위품목명	부품코드	부품명	중요도
1	부품	가스압력 게이지	PART-030	로타리 조인트	0.50
2	부품	가스압력 게이지	PART-134	콘텐서	0.15
3	부품	가스압력 게이지	PART-213	레벨 센서	0.20
4	부품	가스압력 게이지	PART-275	슬리브 개스킷	0.15
Total					1.00

(c) 레벨2, 가스압력 스위치 부품

No	구분	상위품목명	부품코드	부품명	중요도
1	부품	가스압력 스위치	PART-098	온도센서	0.50
2	부품	가스압력 스위치	PART-124	전자접촉기	0.35
3	부품	가스압력 스위치	PART-134	콘텐서	0.15
Total					1.00

(d) 레벨2, 보일러 압력계 부품

No	구분	상위품목명	부품코드	부품명	중요도
1	부품	보일러 압력계	PART-009	온도센서	0.70
2	부품	보일러 압력계	PART-038	전자접촉기	0.30
Total					1.00

표 3.2 부품의 심각도 계산

Table 3.2 Calculation of the severity parts

부품		레벨 1	레벨 2	중요도	심각도 점수
가스압력 게이지	로타리 조인트	0.25	0.50	0.1250	3
	콘덴서(게이지)		0.15	0.0375	1
	레벨 센서		0.20	0.0500	2
	슬리브 개스킷		0.15	0.0375	1
가스압력 스위치	온도센서	0.20	0.50	0.1000	3
	전자접촉기		0.35	0.0700	2
	콘덴서(스위치)		0.15	0.0300	1
보일러 압력계	구동모터	0.15	0.70	0.1050	3
	모터베어링		0.30	0.0450	1
보일러 맨홀 개스킷		0.05		0.0500	2
보일러 소재구 개스킷		0.05		0.0500	2
연료필터		0.12		0.1200	3
제어전원 차단기		0.10		0.1000	3
착화애자봉		0.08		0.0800	2

표 3.3 심각도 기준

Table 3.3 Severity criteria

점수	기준(중요도)
10	중요도 0.7 이상
9	중요도 0.5 이상
8	중요도 0.4 이상
7	중요도 0.3 이상
6	중요도 0.25 이상
5	중요도 0.2 이상
4	중요도 0.15 이상
3	중요도 0.1 이상
2	중요도 0.05 이상
1	중요도 0.05 미만

(2) 발생도

발생도의 경우, 기존에는 표 3.4와 같이 MTBF(Mean Time Between Failure, 평균 사용 시간)를 기준으로 정의하였으나, 본 논문에서는 MTBF 대신 표 3.5와 같이 부품별 고장발생 확률 기준으로 정의하고 1~10의 점수를 부여한다.

표 3.4 평균사용시간을 이용한 발생도 기준

Table 3.4 Occurrence criteria using MTBF

점수	기준(MTBF)
10	1주 이하 혹은 예측 불가
9	168시간(1주) 이상
8	336시간(2주) 이상
7	720시간(1개월) 이상
6	2160시간(3개월) 이상
5	5,000시간 이상
4	10,000시간 이상
3	50,000시간 이상
2	100,000시간 이상
1	영구/반영구적 부품

표 3.5 부품고장확률을 이용한 발생도 기준

Table 3.5 Occurrence criteria using failure probability of parts

점수	기준(고장확률 %)
10	50 이상
9	30 이상
8	20 이상
7	15 이상
6	10 이상
5	5 이상
4	3 이상
3	2 이상
2	1 이상
1	1 미만

부품의 고장 확률은 표 3.6과 같이 전체 고장건수와 부품 고장건수의 비율로 나타난다. 예를 들어, 로타리 조인트의 고장 확률은 보일러 전체 고장 건수 96건 중 3건의 고장 발생 횟수를 가지므로 $3/96 \times 100 = 3.125\%$ 이다. 표 3.5를 참고하여 부품의 발생도를 계산하면 3.6과 같으며, 고장 확률은 고장 발생 횟수가 가장 많은 구동모터와 전자접촉기 순서로 나타난다.

표 3.6 부품의 발생도 계산

Table 3.6 Calculation of the occurrence parts

No	부품	고장 발생 횟수	부품 고장 확률(%)	발생도 점수
1	로타리 조인트	3	3.125	4
2	콘덴서(가스압력 게이지)	2	2.083	3
3	레벨 센서	1	1.042	2
4	슬리브 개스킷	3	3.125	4
5	온도 센서	2	2.083	3
6	전자 접촉기	18	18.750	7
7	콘덴서(가스압력 스위치)	2	2.083	3
8	구동모터	25	26.042	8
9	모터 베어링	5	5.208	5
10	보일러 맨홀 개스킷	8	8.333	5
11	보일러 소재구 개스킷	12	12.500	6
12	연료필터	10	10.417	6
13	제어전원 차단기	2	2.083	3
14	착화 애자봉	3	3.125	4
Total	고장모드 전체	96	100.000	

그림 3.4는 고장 확률 관리의 흐름도이며, 작업명 Failure_Prob_renew로서, SQL Server Agent에서 매일 실행된다. 작업은 저장 프로시저 SP_Failure_Prob_manage를 호출하여 샘플링 데이터를 모아서 부품별 고장 확률을 계산한 후, 고장 테이블에 부품 고장 확률 및 발생도 점수를 업데이트한다.

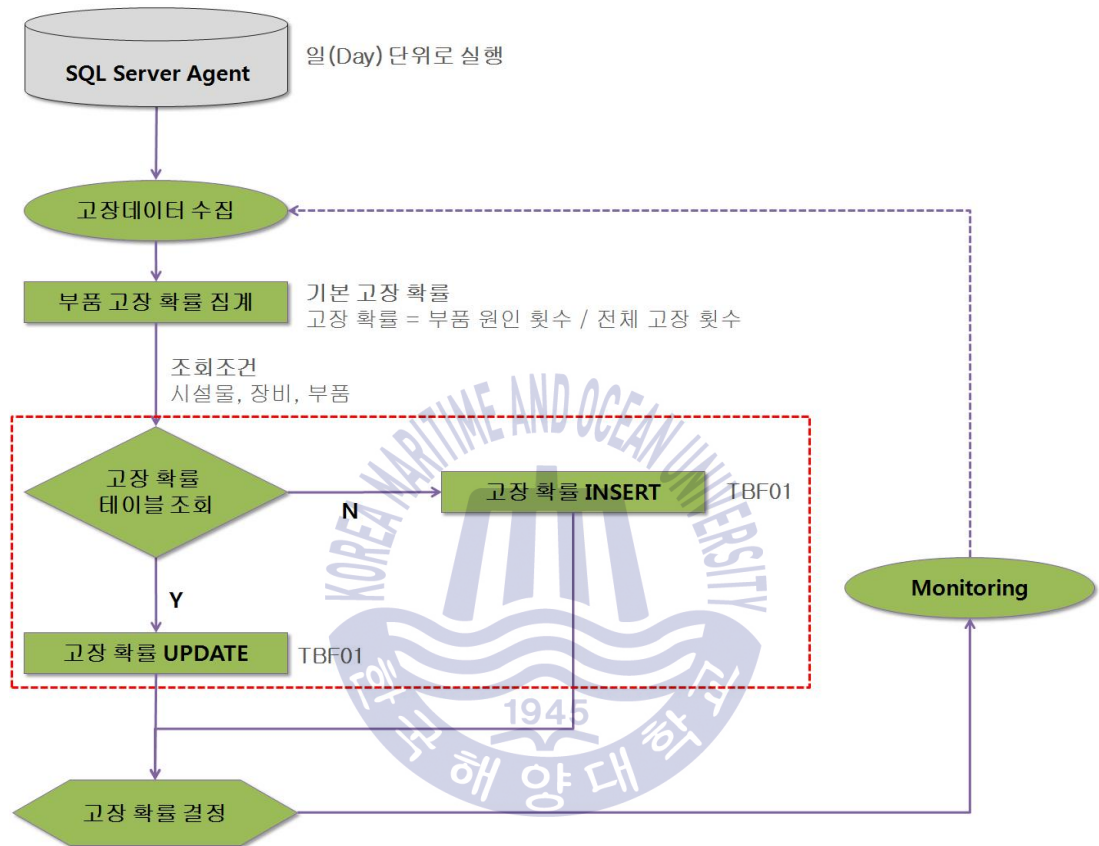


그림 3.4 고장 확률 관리 흐름도

Fig. 3.4 A flow diagram of failure-probability management

(3) 검출도

검출도는 고장원인 및 고장 탐지 가능성에 따라 1~10의 점수를 부여하며, 표 3.7과 같다. RPN 계산에 필요한 3가지 항목 중, 가장 주관적인 요소가 높은 항목이며, 같은 의미로 RPN 재계산 시, 수정이 가장 용이한 부분이다. 이러한 이유로 우주 항공 산업 분야와 같이 특수한 상황에 따라서 검출도를 생략하고 심각도와 발생도만 사용하기도 한다.

표 3.7 검출도 기준

Table 3.7 Detection criteria

점수	기준(고장 탐지 가능성)	탐지 확률 가능성(예)
10	탐지 불가	탐지 확률 80% 미만
9	매우 희박한 가능성	탐지 확률 80% 이상
8	희박한 가능성	탐지 확률 82.5% 이상
7	매우 낮은 가능성	탐지 확률 85% 이상
6	낮은 가능성	탐지 확률 87.5% 이상
5	보통 가능성	탐지 확률 90% 이상
4	다소 높은 가능성	탐지 확률 92.5% 이상
3	높은 가능성	탐지 확률 95% 이상
2	매우 높은 가능성	탐지 확률 97.5% 이상
1	거의 확실하게 탐지 가능	탐지 확률 99.5% 이상

관리자는 검출도 기준 표를 참고로 검출도 점수를 부여한다. 표 3.8에서 연료필터나 차단기, 구동모터와 같이 검출이 쉬운 부품은 1~2의 낮은 검출도 점수를 가지는 반면 콘덴서처럼 검출이 어려운 부품은 검출도7 이라는 높은 점수를 가진다.

표 3.8 부품의 검출도 계산

Table 3.8 Calculation of the detection parts

No	부품	검출도 점수
1	로타리 조인트	5
2	콘덴서(가스압력 게이지)	7
3	레벨 센서	3
4	슬리브 개스킷	3
5	온도 센서	3
6	전자 접촉기	5
7	콘덴서(가스압력 스위치)	7
8	구동모터	2
9	모터 베어링	5
10	보일러 맨홀 개스킷	3
11	보일러 소재구 개스킷	3
12	연료필터	1
13	제어전원 차단기	1
14	착화 애자봉	5

(4) RPN 계산

RPN은 FMECA에서 위험도를 수치화한 것으로 심각도(severity), 발생도(occurrence), 검출도(detection)의 곱으로 계산하며, 식 (3)과 같이 나타낸다. 일반적으로 RPN 수치가 높을수록 부품 관리에 있어서 주의를 요구한다.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (3)$$

관리자는 샘플링 데이터를 이용하여 부품의 고장확률을 구한 후, 이를 이용하여 발생도를 결정하고, 심각도, 검출도와 함께 RPN 결정의 정량적 분석 요소로써 사용한다. 그리고 고장모드에 따른 부품별 위험우선순위를 이용하여 고장부품 추정한다. 고장 확률은 분석 수준 결정 단계에서 시설물의 부품을 분석하고 시설물의 샘플링 데이터를 정리하여 고장 추정 모듈 프로시저에 의해 업데이트한다.

표 3.9는 고장모드가 전원OFF일 경우의 RPN을 계산한 결과이며, 이를 이용하여 관리자는 고장부품을 추정한다. 그리고 일반적으로 RPN의 상대적 순위에 관계없이 그 값이 평균보다 높은 경우($RPN > 100$) 시설물에 미치는 영향도가 큰 중요 인자로 설정한다.

표 3.9 전원OFF RPN 계산

Table 3.9 Calculation of Power OFF RPN

부품명	고장모드	심각도	발생도	검출도	RPN
콘덴서(게이지)	전원OFF	1	3	7	21
레벨 센서	전원OFF	2	2	3	12
온도 센서	전원OFF	3	3	3	27
전자 접촉기	전원OFF	2	7	5	70
콘덴서(스위치)	전원OFF	1	3	7	21
구동모터	전원OFF	3	8	2	48
연료필터	전원OFF	3	6	1	18
제어전원차단기	전원OFF	3	3	1	9
착화 애자봉	전원OFF	2	4	5	40

표 3.10은 고장모드 전원OFF의 원인 부품에 대하여 FMECA 시트를 작성하여 부품의 고장이 시설물에 미치는 영향을 정의하였으며, FMECA 시트는 고장 영향 정보와 고장원인 정보를 포함한다. 향후 고장 발생 시, 고장모드와 원인 부품을 확인할 경우 고장원인과 고장 영향정보를 파악할 수 있다.

표 3.10 전원OFF FMECA 시트

Table 3.10 An FMECA sheet of power off

부품명	고장모드	고장 영향	고장원인	심각도	발생도	검출도	RPN
콘덴서 (게이지)	전원OFF	장비 사용 불가	과전류	1	3	7	21
레벨 센서	전원OFF	장비 사용 불가	저항 파손	2	2	3	12
온도 센서	전원OFF	설비 사용 불가	고온, 고압	3	3	3	27
전자 접촉기	전원OFF	설비 사용 불가	접점 불량	2	7	5	70
콘덴서 (스위치)	전원OFF	장비 사용 불가	과전류	1	3	7	21
구동모터	전원OFF	장비 사용 불가	과전류	3	8	2	48
연료필터	전원OFF	장비 사용 불가	수명 주기	3	6	1	18
제어전원차 단기	전원OFF	장비 사용 불가	퓨즈	3	3	1	9
착화 애자봉	전원OFF	장비 사용 불가	전극 손상	2	4	5	40

(5) 고장원인 우선순위

시설물 관리자가 고장모드를 아는 경우, 부품의 RPN을 이용하여 고장모드의 원인이 되는 부품을 예측할 수 있다. RPN은 고장모드의 발생도 및 검출도를 고려한 수치이므로 고장원인 발생확률만을 고려한 수치보다 신뢰성을 확보할 수 있다. 고장모드 전원 OFF의 경우, **표 3.11**과 같으며 고장확률만 고려한 경우와 RPN을 적용했을 경우 점검해야 할 부품의 우선순위가 다르다.

부품 고장 확률만 고려할 경우 고장 점검 순위는 구동모터 → 전자 접촉기 → 연료

필터 순서이지만, 부품의 심각도와 검출도를 고려한 RPN을 적용할 경우, 점검 우선순위는 전자 접촉기 → 구동 모터 → 착화 애자봉 순서이다. 일반적으로 구동 모터가 고장횟수가 많아서 우선 점검 대상으로 생각할 수 있으나 전자 접촉기 비해 검출이 쉬워서 우선순위는 낮은 값을 가지며 구동 모터보다 전자 접촉기가 우선순위를 가진다. 하지만 위험순위와 상관없이 심각도가 8이상인 경우는 매우 중요하므로 RPN과 상관없이 항상 주의를 요구한다.

표 3.11 고장원인 우선순위

Table 3.11 Fault cause priorities

부품명	고장모드	고장확률(%)	고장확률을 고려한 우선순위	RPN	RPN을 고려한 우선순위
콘덴서 (게이지)	전원OFF	2.083	5	21	5
레벨 센서	전원OFF	1.042	9	12	8
온도 센서	전원OFF	2.083	5	27	4
전자 접촉기	전원OFF	18.750	2	70	1
콘덴서 (스위치)	전원OFF	2.083	5	21	5
구동모터	전원OFF	26.042	1	48	2
연료필터	전원OFF	10.417	3	18	7
제어전원 차단기	전원OFF	2.083	5	9	9
착화 애자봉	전원OFF	3.125	4	40	3

3.2 FTA를 이용한 고장 추정

관리자가 고장모드를 알 수 없는 경우, FTA를 이용하여 각 고장모드를 추정한다. 부품의 고장 확률과 미리 등록한 각 고장모드의 FT를 이용하여 계산된 고장모드별 발생 확률을 기준으로 고장모드 우선순위를 나타내고, 이를 참고하여 고장모드를 선택한다.

(1) 고장모드별 FT

고장모드 FTA를 이용하여 각 고장모드의 발생확률을 구하기 위해선, 기본사상에 해당하는 부품의 고장 확률을 알아야 한다. 부품의 고장 확률은 시설물을 기준으로 전체 고장 횟수에 대한 부품 고장원인 횟수의 비율로 나타나며, 보일러 시설물을 구성하는 부품의 고장 확률은 표 3.12와 같다. 부품의 고장 확률은 RPN의 발생도 기준으로 사용하며, 또한 FTA에서 FT상의 최상위사상을 구하기 위한 기본사상의 확률로 사용한다.

표 3.12 부품 고장 확률
Table 3.12 Failure probabilities of parts

No	부품	고장 발생 횟수	고장 확률(%)
1	로타리 조인트	3	3.125
2	콘덴서(가스압력 게이지)	2	2.083
3	레벨 센서	1	1.042
4	슬리브 개스킷	3	3.125
5	온도 센서	2	2.083
6	전자 접촉기	18	18.750
7	콘덴서(가스압력 스위치)	2	2.083
8	구동모터	25	26.042
9	모터 베어링	5	5.208
10	보일러 맨홀 개스킷	8	8.333
11	보일러 소재구 개스킷	12	12.500
12	연료필터	10	10.417
13	제어전원 차단기	2	2.083
14	착화 애자봉	3	3.125
Total	고장모드 전체	96	100.000

FT는 시설물 BOM을 기준으로 작성하며, 고장모드 전체에 대한 FT는 그림 3.5와 같이 BOM을 모두 전개한 것과 같다. 만약 부품이 어떤 고장모드에도 영향을 미치지 않을 경우 해당 부품은 FT에서 제외 할 수 있으며, 하나의 고장모드는 다수의 고장 발생 원인을 가지고, 또한 하나의 부품은 다수의 고장모드의 원인이 된다.

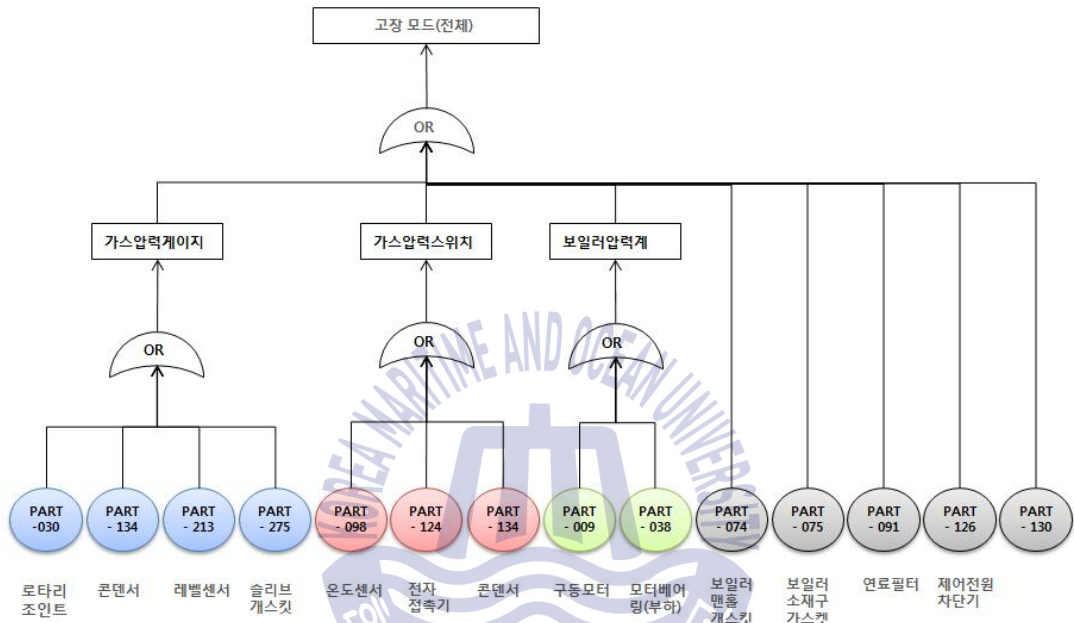
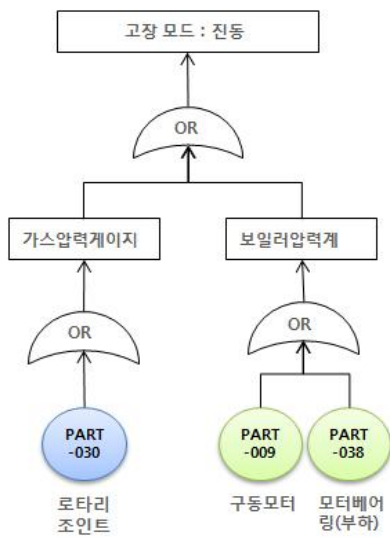


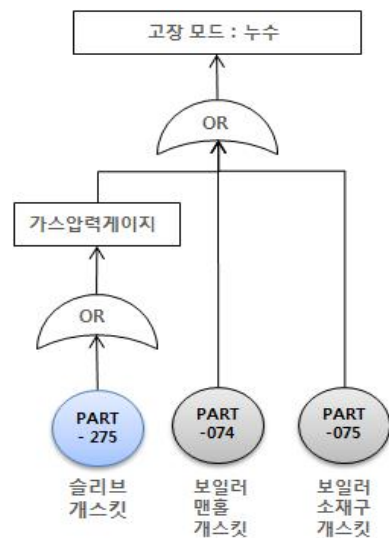
그림 3.5 고장모드 전체 FTA

Fig. 3.5 Full FTA for failure mode

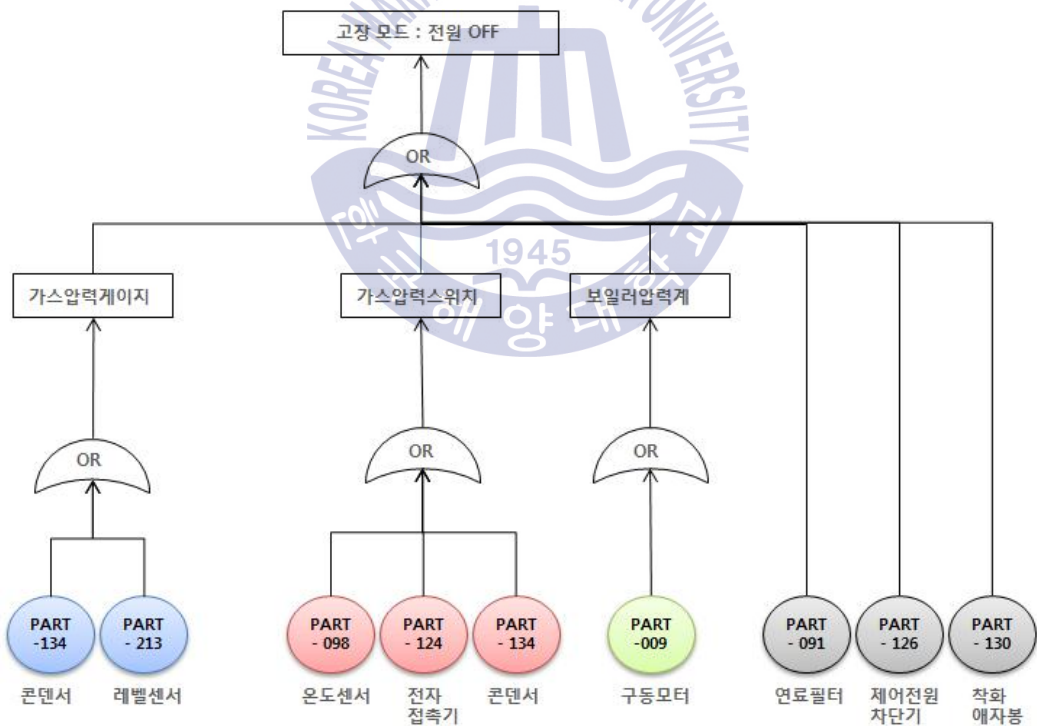
전체 고장모드 중 임의의 고장모드를 발생하는 고장원인을 그림 3.6과 같이 분리할 수 있으며, 임의의 고장모드와 특정 부품의 관계가 항상 1:1 대응은 아니다. 그림 3.6(c)의 콘덴서와 같이 같은 부품이라 하더라도 다른 장비를 구성하는 경우 고장 확률은 독립적으로 발생한다. 본 논문에서는 전체 고장모드 중 진동, 누수, 전원OFF 3가지 고장모드를 표현하였으며, 고장모드 FT와 부품의 고장 확률을 이용하여 장비 또는 시설물의 고장모드 발생확률을 구할 수 있고, FTA의 최상위사상의 확률은 고장모드 발생확률로 표현된다.



(a) 진동



(b) 누수



(c) 전원OFF

그림 3.6 고장모드 개별 FTA

Fig. 3.6 Individual FTA for failure modes

(2) 고장모드 발생확률

고장모드 발생확률은 각 고장모드에 대하여 FT를 작성한 후 부품별 고장 확률과 논리 연산을 이용하여 구한 최상위사상의 확률로 표현한다. 표 3.13은 고장모드 진동을 발생시키는 각 부품의 고장 확률을 나타내며 시설물 기준으로 진동 고장발생 확률의 논리식은 “PART-030” + “PART-009” + “PART-038”로 표현한다. 고장발생 확률은 “ $1 - (1 - 0.03125) \times (1 - 0.26042) \times (1 - 0.05208) = 0.32084$ ”로 나타낼 수 있으며, 진동 발생확률은 32.08%임을 알 수 있다.

표 3.13 진동 고장 확률

Table 3.13 Vibration failure probabilities

No	부품	고장발생횟수	고장 확률(%)
1	로타리 조인트	3	3.125
2	구동 모터	25	26.042
3	모터 베어링	5	5.208
Total	고장모드 (진동)	30	

표 3.14는 고장모드 누수를 발생시키는 각 부품의 고장 확률을 나타내며, 시설물 기준으로 누수 고장발생 확률의 논리식은 “PART-275” + “PART-074” + “PART-075”로 표현한다. 고장발생 확률은 “ $1 - (1 - 0.03125) \times (1 - 0.08333) \times (1 - 0.125) = 0.222979$ ”로 나타낼 수 있으며, 누수 발생확률은 22.30%임을 알 수 있다.

표 3.14 누수 고장 확률

Table 3.14 Leak failure probabilities

No	부품	고장발생횟수	고장 확률(%)
1	슬리브 개스킷	3	3.125
2	보일러 맨홀 개스킷	8	8.333
3	보일러 소재구 개스킷	12	12.500
Total	고장모드 (누수)	23	

표 3.15는 고장모드 전원OFF 를 발생시키는 각 부품의 고장 확률을 나타내며, 시설물 기준으로 전원OFF 고장발생 확률의 논리식은 (“PART-134” + “PART-213”) +

(“PART-098” + “PART-124” + “PART-134”) + “PART-009” + (“PART-091” + “PART-126” + “PART-130”) 으로 표현한다. 전원OFF의 FT에서 모두 OR 게이트로 연결되므로 고장발생확률은 “ $1 - (1 - 0.01042) \times (1 - 0.01042) \times (1 - 0.02083) \times (1 - 0.1875) \times (1 - 0.03125) \times (1 - 0.26042) \times (1 - 0.10417) \times (1 - 0.02083) \times (1 - 0.03125) = 0.525675$ ”로 나타낼 수 있으며, 전원OFF 발생확률은 52.56%임을 알 수 있다.

표 3.15 전원OFF 고장 확률

Table 3.15 Power OFF failure probabilities

No	부품	고장발생횟수	고장 확률(%)
1	콘텐서(가스압력 게이지)	1	1.042
2	레벨 센서	1	1.042
3	온도 센서	2	2.083
4	전자 접촉기	18	18.750
5	콘텐서(가스압력 스위치)	3	3.125
6	구동모터	25	26.042
7	연료필터	10	10.417
8	제어전원 차단기	2	2.083
9	착화 애자봉	3	3.125
Total	고장모드 (전원 OFF)	64	

(2) 고장모드 우선순위

고장모드를 모를 경우, FTA를 이용하여 구한 고장모드 우선순위를 기준으로 고장모드를 선정한다. 예를 들어 보일러 고장 발생 시, 고장모드를 알 수 없을 경우, 표 3.16과 같이 관리자는 고장모드 발생확률의 우선순위에 따라 전원OFF 고장일 확률이 52.56%로 가장 높으며, 다음으로 32.08% 확률이 진동이 발생하며, 22.30% 확률로 누수가 가장 낮음을 알 수 있다. 시설물 관리자는 고장모드 우선순위를 이용하여 전원OFF라는 고장모드를 추정한다. 이렇게 관리자가 고장모드를 결정한 경우, 선택한 고장모드에 대한 고장부품을 탐색이 가능하다.

표 3.16 고장모드 우선순위

Table 3.16 Failure-mode priority

No	고장모드	고장 확률(%)	우선순위
1	진동	32.08	2
2	누수	22.30	3
3	전원OFF	52.56	1



3.3 위험우선순위 개선

고장 처리 및 주요 항목에 대한 대책 수립으로 고장모드의 위험우선순위를 줄이기 위해 이상적으로 고장모드가 제거되어야 하며, 이 경우 고장의 위험이 감소한다. 주요 항목에 대한 대책 수립은 위험우선순위에 근거하여 3가지 방향에서 접근할 수 있다.

일반적으로 심각도는 프로세스 전반에 관한 수치를 나타내며, 본 논문에서는 시설물의 BOM에 근거하여 부품의 중요도에 의해 결정되므로 시설물 구성이 변경되지 않는 한 수정이 어렵다. 따라서 위험우선순위를 개선하는 방법으로는 발생도 또는 검출도에 영향을 주는 환경을 개선하는 것이 중요하다.

발생도의 개선 방향으로 고장 확률의 개선 측면에서 접근하며, 장비 또는 부품을 변경하여 해당 고장 확률 자체를 변경하거나, 부품 사용 기한 만료에 따른 파손에 의한 고장을 예방하여 해당 부품의 고장 확률을 낮춘다. 마찬가지로 부품 유지보수의 측면에서 사용 환경 개선으로 고장발생 확률을 감소할 수 있다. 본 논문에서는 부품의 실제 사용시간이 평균사용시간에 가까워짐에 따라 알람을 발생시키며, 고장 발생 전 부품 교체를 함으로써 고장 확률을 개선하는 방안을 제시한다. 시설물 부품 관리에 있어서 부품 교체 주기 알람은 부품 사용 시간을 기준으로 계산하며, 표 3.17과 같이 부품의 중요도에 따라 평균 사용 시간은 가변적으로 적용한다.

표 3.17 중요도에 따른 평균 사용 시간

Table 3.17 MTBF according to importance

중요도	수치	평균 사용 시간
높음	8 이상	최소 사용 시간
보통	3 ~ 7	평균 사용 시간
낮음	2 이하	최대 사용 시간

부품의 교체가 이루어지면 실제 사용시간은 0으로 재설정하며, 시간의 흐름에 따라 자동으로 실제 사용시간이 증가하게 된다. 식 (4)는 알람을 결정하는 식을 나타내며, 각 변수는 다음과 같다. RT는 여유시간, MTBF는 평균사용시간, UT는 실제 사용시간을 나타내며, 평균사용시간에 대한 평균사용시간과 실제 사용시간의 차이의 비율로 여유 시간을 결정하였다.

$$RT = (MTBF - UT) / MTBF \times 100 \quad (4)$$

알람 여부는 부품의 특성에 따라서 설정이 가능하며, **그림 3.7**과 같이 교체 알람 팝업을 제공하여 고장을 방지할 수 있도록 한다. 부품 교체 프로세스는 평균사용시간을 고려하여 실제 사용시간이 평균 사용시간을 초과하지 않고 여유시간이 10% 미만일 경우 알람 목록에서 해당 부품을 노란색으로 변경하고 잠재적인 고장모드, 고장 영향, 고장원인 등을 알려주는 방법으로 교체 알람을 발생한다. 이 경우 DATA 저장 없이 별도의 알람 정보만 발생한다. 만약 실제 사용시간이 평균 사용시간을 초과할 경우 알람 목록에서 해당 부품을 빨간색으로 표시하여 더 강한 경고를 나타낸다. 그리고 여유시간과는 별도로 다른 부품에 비해 상대적으로 RPN이 높은 부품의 경우에는 상시 알람 목록에 출력하여 관리자가 항상 주의를 기울일 수 있도록 한다. 알람은 안드로이드 push notification을 이용하여 발생한다.

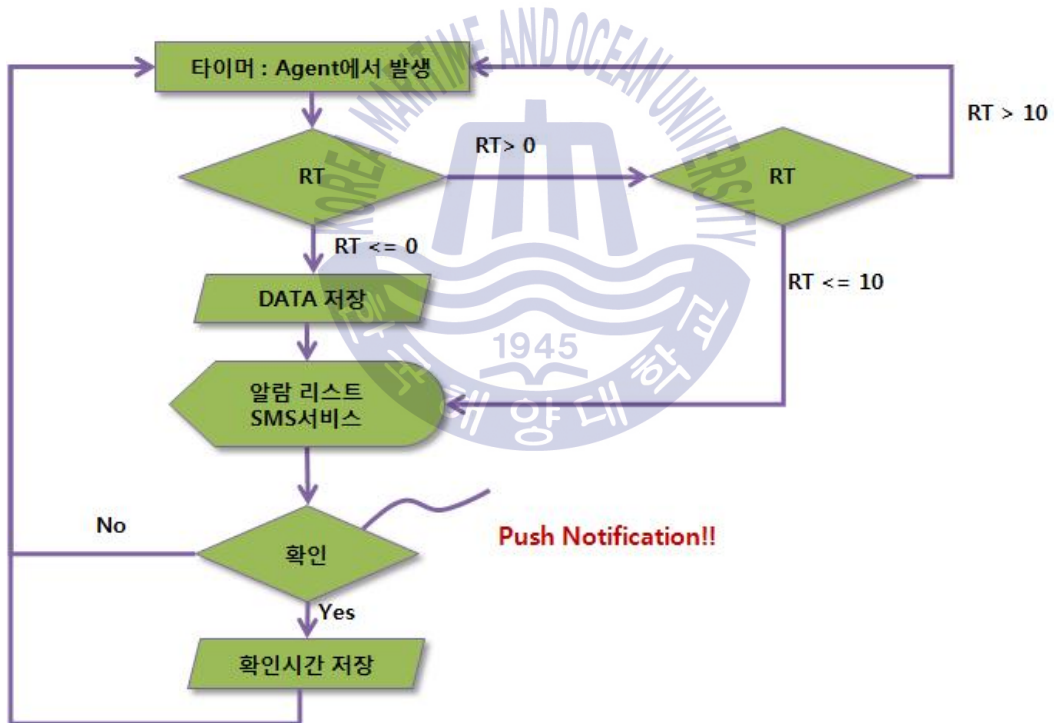


그림 3.7 부품교체 프로세스

Fig. 3.7 Process of part replacement

제 4 장 설계 및 구현

4.1 시스템 전체 구성도

시설물 관리시스템의 전체 구성도는 **그림 4.1**과 같으며, 시스템은 고장 추정 모듈, 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈, HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈의 3가지로 구분한다. 첫째, 고장 추정 모듈은 저장 프로세서로서 구현하며, 시설물의 부품 샘플링 데이터를 수집하여 부품의 고장발생 확률을 매일 업데이트 한다. 둘째, 네이티브 앱의 장점인 디바이스 컨트롤을 위해 폰갭을 이용하여 하이브리드 앱을 구현하였으며, 스마트폰을 이용한 실시간 시설물 관리시스템을 구성하기 위하여 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈을 구현하였다. 시설물 관리 앱 모듈은 QR코드를 사용하여 시설물 또는 부품의 정보를 가져올 수 있으며 Push notification을 이용하여 부품 교체 알람을 발생 할 수 있다. 셋째, HTML5 기반 통합시설물 관리 모듈을 구성하였으며, 서비스의 재사용 및 비즈니스 환경 변화에 대한 유연성을 가지고 대처할 수 있도록 하였다. 시스템을 구축함에 있어서 기존 C/S기반의 통합관리 시스템을 HTML5 기반의 통합 시설물 관리 시스템으로 대처하여 WEB에서 접근이 가능할 뿐만 아니라 스마트폰으로 언제 어디서든지 시설물 관리 서버에 접속하여 원하는 정보를 실시간으로 활용이 가능하도록 하였다.

구현은 Microsoft Windows Enterprise 운영체제를 기반으로 시설물 통합관리시스템의 각종 자료의 저장 및 조회를 위하여 MS SQL Server 2008 R2을 이용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 고장 추정 모듈을 적용하기 위한 테이블은 **표 4.1~4.5** 와 같다. 고장 추정 모듈은 **표 4.1**의 샘플링 데이터를 이용하여 **표 4.2**의 고장 확률을 업데이트 하고, 이는 FTA(Fault Tree Analysis)의 부품 고장 확률과 RPN의 발생도 기준으로 사용한다. 고장 추정 모듈 적용을 위해 관리자는 다음과 같은 정보를 등록해야 한다. **표 4.3**의 BOM 테이블은 RPN(Risk Priority Number)의 심각도를 구하기 위해 중요도를 관리하며, **표 4.4**의 FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis) 테이블은 고장모드를 정의하고 원인 부품 및 고장 영향에 관한 정보를 관리한다. **표 4.5**의 FTA 테이블은 고장모드 추정을 위해 각 고장모드의 FT(Fault Tree)를 설정하고 관리한다.

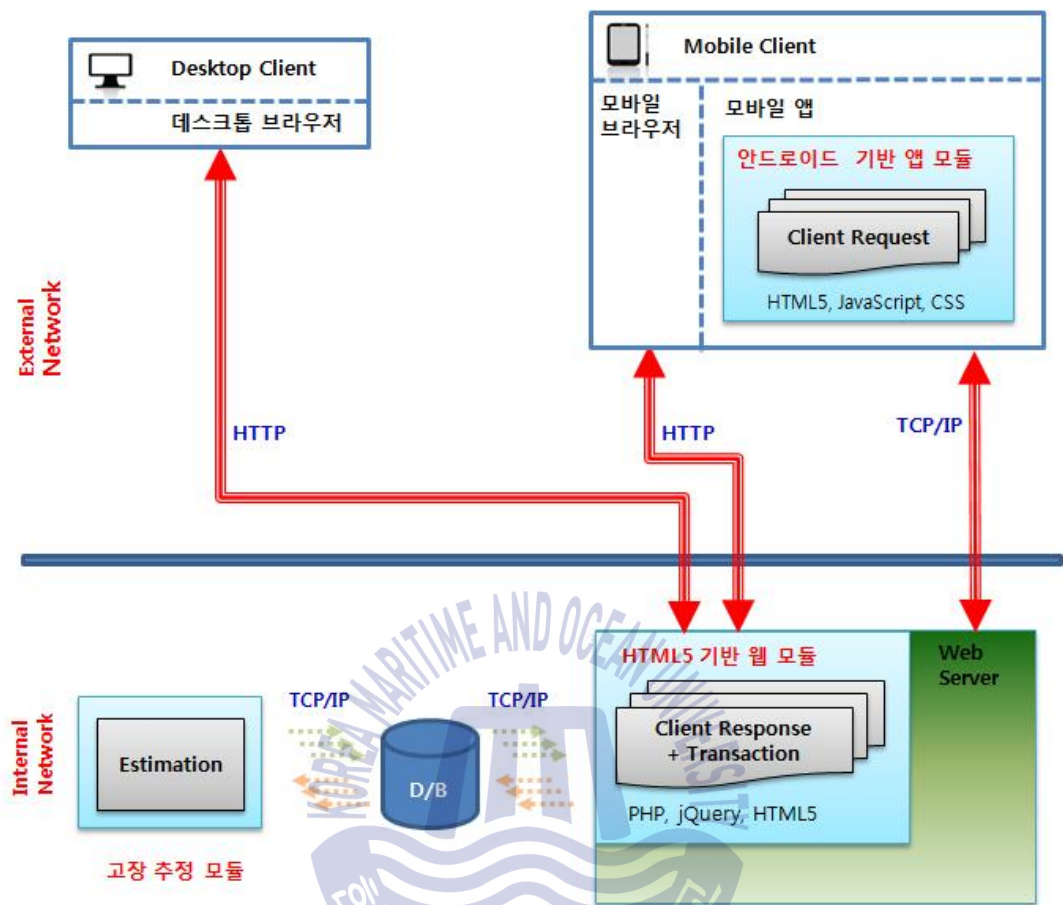


그림 4.1 시스템 전체 구성도

Fig 4.1 A system diagram of the proposed system

표 4.1 샘플링 데이터 테이블

Table 4.1 The table for sampling data

NO	컬럼명	Data Type	Not Null	Default	세부내용	비 고
1	S02INDEXCD	int	Y		등록번호	Primay Key
2	S02INDEX01	int			점검참고번호	
3	S02INDEX09	int			출고참고번호	
4	S02KOREACD	Varchar(10)	Y	'01'	등록구분	
5	S02ENTRYD1	Varchar(8)			등록일자	
6	S02ENTRYD2	Varchar(20)			등록일자2	
7	S02FACGBCD	Nvarchar(20)			시설물코드	
12	S02MANGBCD	Nvarchar(20)			담당자 코드	
13	S01GBCD001	Nvarchar(20)			구분코드1	고장원인
14	S01GBCD002	Nvarchar(20)			구분코드2	조치사항
15	S01GBCD003	Nvarchar(20)			구분코드3	사용안함
16	S02NICKNM1	Nvarchar(20)			부품코드	
17	S02NICKNM2	Nvarchar(20)			부품명	
18	S02NICKNM3	Nvarchar(20)			부품규격	
19	S02JPMXQTY	int			교환수량	
20	S01CONTENT	text			고장내역	
21	S02BIGOXXX	text			비고사항	
22	S01FINGBCD	Char(1)			완료구분코드	

표 4.2 부품 고장 확률 테이블

Table 4.2 The table for a failure probability of parts

NO	컬럼명	Data Type	Not Null	Default	세부내용	비 고
1	F01INDEXCD	int	Y		등록번호	
2	F01FACGBCD	nvarchar(50)			설비코드	
3	F01JPMDOWN	nvarchar(50)			장비코드	
4	F01JPMLAST	nvarchar(50)			부품코드	
5	F01COUNT	int			부품 고장횟수	
6	F01Total	int			전체 고장횟수	
7	F01PROB	float			부품 고장확률	
8	F01RANK	int			발생도 점수	
9	F01UPDTIME	datetime			수정시각	
10	F01SYSTIME	datetime			등록시각	

표 4.3 BOM 테이블

Table 4.3 The table for BOM

NO	컬럼명	Data Type	Not Null	Default	세부내용	비 고
1	K48SEQ	int	Y		등록번호	
2	K48JPMTOP	nvarchar(50)			최상위 아이TEM	
3	K48JPMITUP	nvarchar(50)			상위 아이TEM	
4	K48JPMDOWN	nvarchar(50)			하위 아이TEM	
5	K48LEVELXX	int			BOM 레벨	
6	K48QTYNEED	int			구성수량	
7	K48WEIGHT	float			중요도	심각도
8	K48DTSTART	datetime			적용 시작일자	
9	K48DTENDXX	datetime			적용 종료일자	
10	K48KDUSING	car(1)			사용여부	
11	K48UPDDATE	datetime			수정시각	
12	K48SYSDATE	datetime			등록시각	

표 4.4 FMECA 테이블

Table 4.4 The table for FMECA

NO	컬럼명	Data Type	Not Null	Default	세부내용	비 고
1	F02INDEXCD	int	Y		등록번호	
2	F02INDEX02	int			참고번호	RPN 재계산
3	F02FACGBCD	nvarchar(50)			시설물코드	
4	F02GBCD001	nvarchar(20)			구분코드 1	고장모드
5	F02GBCD002	nvarchar(20)			구분코드 2	고장영향
6	F02GBCD003	nvarchar(20)			구분코드 3	고장원인
7	F02NICKNM1	nvarchar(50)			부품코드	
8	F02CONTENT	nvarchar(400)			비고사항	
9	F02SEVERITY	int			심각도	
10	F02OCCUR	int			발생도	
1	F02DETECT	int			검출도	
12	F02PRN	int			RPN	
13	F02UPDTIME	datetime			수정 시각	
14	F02SYSTIME	datetime			등록 시각	

표 4.5 FTA 테이블

Table 4.5 The table for FTA

NO	컬럼명	Data Type	Not Null	Default	세부내용	비 고
1	F03INDEXCD	int	Y		등록번호	
2	F03FACGBCD	nvarchar(50)			설비코드	
3	F03GBCD001	nvarchar(20)			장비코드	
4	F03NodeID	int			FTA 노드ID	
5	F03NICKNM1	nvarchar(50)			부품코드	
6	F03Gate	nvarchar(20)			FTA 게이트	
7	F03Value	nvarchar(20)			고장 확률	
8	F03COMGBCD	nvarchar(10)			등록자 ID	
9	F03SYSDATE	nvarchar(8)			등록일자	
10	F03SYSTIME	nvarchar(6)			등록시각	

4.2 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈

안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈은 그림 4.2와 같다. 앱은 PHP, HTML5, JavaScript, CSS를 이용하여 구현하였으며 코드의 재사용성을 위하여 하이브리드 앱 개발용 크로스 플랫폼인 폰갭을 이용하여 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈을 개발하였다. 시설물 관리 앱 모듈은 크게 시설물 정보 및 이력관리, 부속품 재고 관리, 시설물 A/S 관리 등의 메뉴로 구성하였다. 관리자는 QR 코드를 이용하여 시설물 또는 부품의 정보를 스캔할 수 있으며, 스캐닝 정보를 가지고 시설물 정보 및 이력관리를 할 수 있다. 또한 부속품 재고관리를 함으로써 여유재고 관리 및 고장에 대한 즉각적인 대처가 가능하고, 시설물 점검관리 및 A/S 관리를 통해 시설물 점검 정보 및 고장 정보를 등록할 수 있다.

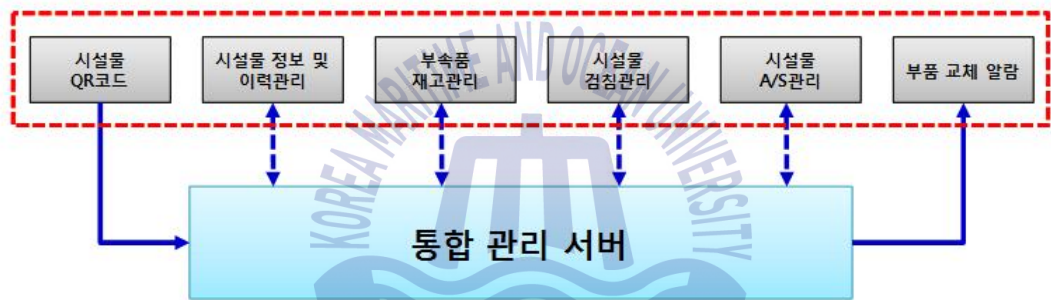


그림 4.2 안드로이드 기반 시설물 관리 앱 모듈

Fig. 4.2 Android-based facility management app module

4.3 HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈

HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈은 그림 4.3과 같다. PHP, HTML5, JavaScript, jQuery, CSS를 이용하여 구현하였으며, desktop 및 mobile browser에서 접속 가능하도록 구현하였다. 기본적인 로직은 시설물 관리 앱 모듈과 유사하며, 시설물 이력 데이터를 이용하여 시설물 감시 및 이력관리 가능하도록 HTML Web Application을 구현하였다. 웹 모듈을 통하여 시설물 데이터를 가지고 시설물 정보 및 이력관리를 할 수 있으며, 부속품 재고데이터를 가지고 부속품 재고 관리를 할 수 있다. 시설물 검침데이터와 A/S관리 데이터를 이용하여 고장 처리에 대한 데이터를 관리하고 부속품 교체 알람 리스트 및 A/S업체 SMS전송 기능이 있다.

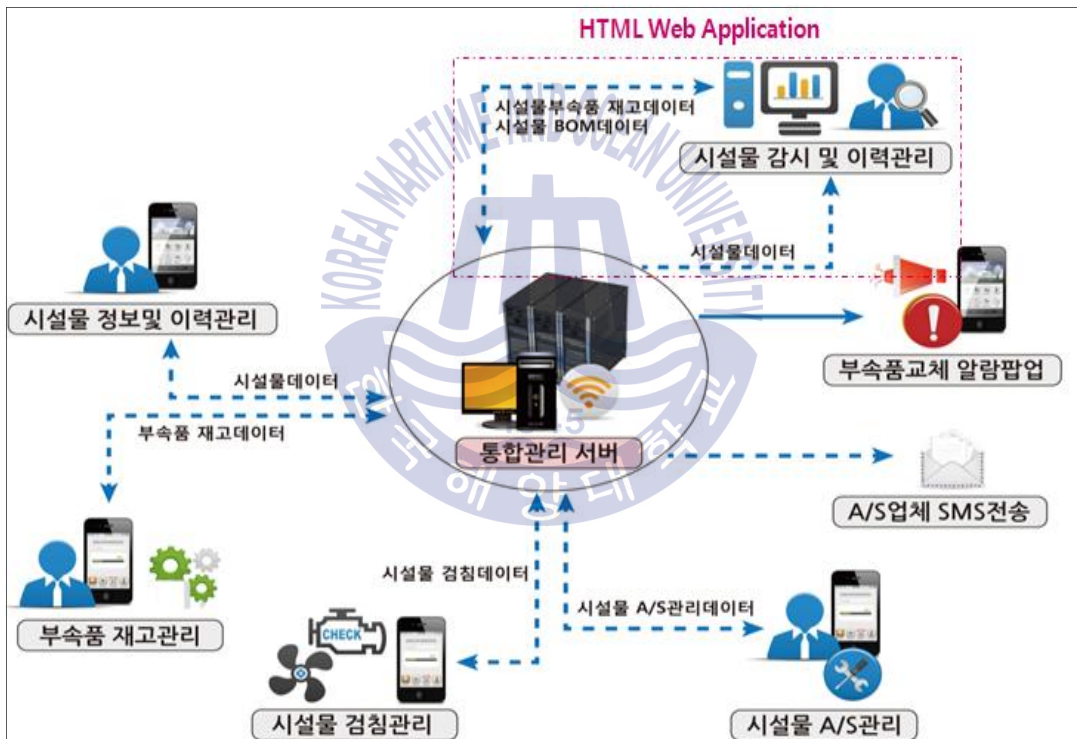


그림 4.3 HTML5 기반 시설물 관리 웹 모듈

Fig. 4.3 HTML5-based facility management web module

4.4 실행 화면

설계한 내용을 실험해보고 유용성을 검증해보기 위하여 WEB 기반의 시설물 관리 시스템과 함께 스마트폰 기반의 관리 시스템을 구현하였다. Windows 운영체제를 기반으로 MSSQL을 이용하여 데이터베이스를 구축하였고, 인터넷정보서비스(IIS)를 이용하여 웹서버를 구동하였으며, PHP를 이용하여 웹 기반의 시설물 관리 시스템을 개발하였다. 그리고 HTML5 기반으로 스마트폰에서 통합관리가 가능하도록 개발하였다. 또한 현재 시설물에서 사용하고 있는 BOM을 이용하였으며, 시설물은 보일러 부품을 샘플로, 고장모드는 진동, 누수, 전원 OFF를 선정하여 제안 방법을 실험하였다.

(1) 접근성 향상을 위한 시스템 구현

그림 4.4~4.5와 같이 시설물 관리 시스템을 웹 기반과 스마트폰 기반으로 구현하였다. 각 플랫폼은 동일한 로직으로 구현되며 시설물 관리자의 접근성을 향상시켰다.



그림 4.4 로그인 화면

Fig. 4.4 Login Screen

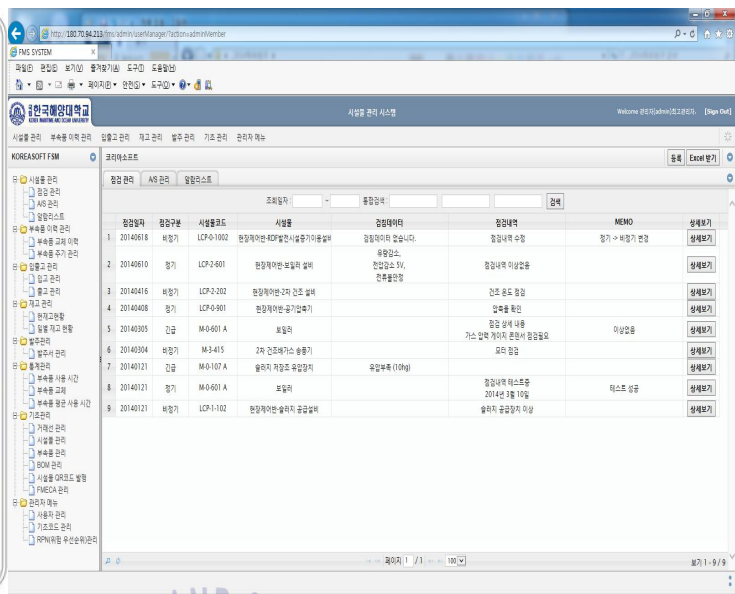


그림 4.5 메인 메뉴 화면
Fig. 4.5 Main menu screen

(2) 스마트폰을 이용한 시설물 관리

그림 4.6은 QR코드를 이용한 시설물 점검 관리 화면이다. 관리자는 시설물 관리 앱을 통해서 현장에서 실시간으로 점검 이력을 관리할 수 있으며, QR코드를 이용하여 시설물 또는 부품 정보를 읽어올 수 있다. 그림 4.7는 부품이 push notification을 이용한 부품 교체 알람이 발생한 화면이다. 부품 수명 소진으로 인한 고장 확률을 방지할 수 있고 고장확률을 개선함으로써 위험우선순위를 낮출 수 있다.



그림 4.6 QR코드를 이용한 시설물 점검 관리
Fig. 4.6 Facility inspection management using QRcode

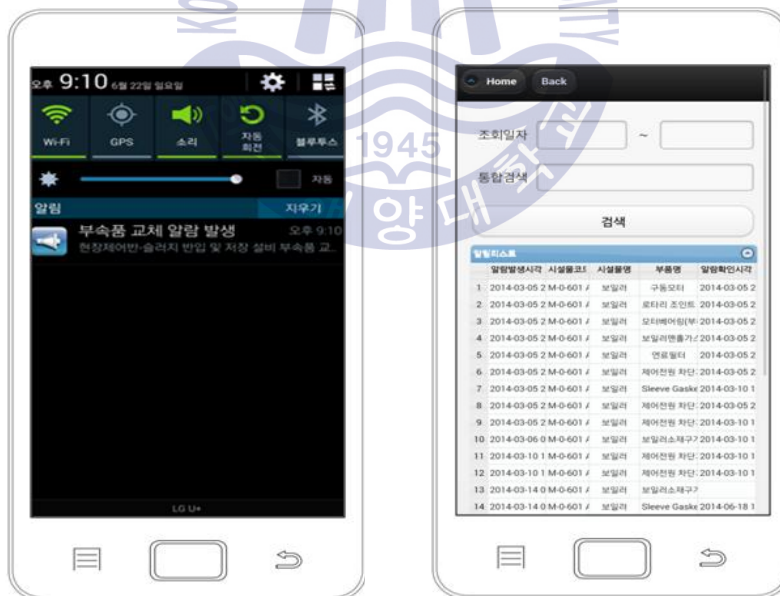


그림 4. Push notification을 이용한 부품 교체 알람 관리
Fig. 4.7 Parts replacement alarm management with Push notification

(3) 위험우선순위를 이용한 시설물 관리 시스템의 구현

그림 4.8은 시설물을 구성하는 장비 및 부품의 BOM(Bill Of Materials)을 등록하고 그 중요도를 부여하는 화면이다. BOM의 각 레벨의 중요도 합은 1이며, 만약 중요도의 합이 1이 아닐 경우 배경색으로 알 수 있다. BOM 형식으로 부여한 중요도는 시설물을 구성하는 부품의 중요도 지표로 사용하며, RPN의 심각도 점수를 결정한다.

그림 4.9는 고장모드와 부품에 대한 FMECA를 설정하는 화면으로 고장 영향 및 고장원인을 등록한다. RPN은 고장 추정 모듈과 세팅 데이터를 참고하며 결정되며, 작성한 FMECA 시트를 참고하여 관리자는 고장모드의 원인을 추정할 때, 고장 영향 및 고장원인을 파악할 수 있다.

그림 4.10은 고장모드별 FTA를 설정하는 화면으로 시설물 BOM을 참고하여 고장모드별로 전개하고 고장 모드를 발생시키는 부품, 게이트 종류, 부품 고장확률로 표현한다.

구성수량	가중치	비고	상세보기	추가등록
1	0		상세보기	추가등록
1	0		상세보기	추가등록
1	0.25		상세보기	추가등록
1	0.1		상세보기	추가등록
1	0.15		상세보기	추가등록
1	0.05		상세보기	추가등록
1	0.05		상세보기	추가등록
1	0.15		상세보기	추가등록
1	0.15		상세보기	추가등록
1	0.1		상세보기	추가등록
1	0.5		상세보기	추가등록
1	0.15		상세보기	추가등록
1	0.2		상세보기	추가등록
1	0.15		상세보기	추가등록
1	0.5		상세보기	추가등록
1	0.25		상세보기	추가등록

그림 4.8 BOM 설정

Fig. 4.8 BOM setting

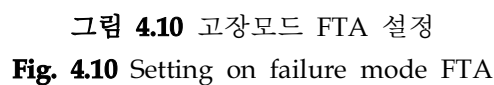


그림 4.11은 시설물 보일러에 관한 샘플링 데이터를 나타낸다. 고장 정보는 관리자가 등록하는 A/S 관리 또는 점검 관리 정보에서 확인할 수 있으며, 샘플링 데이터를 가지고 부품의 고장발생 확률을 구할 수 있다.

그림 4.12는 고장 추정 모듈에서 구현되며 데이터베이스의 누적된 샘플링 데이터를 기준으로 부품별 고장 확률을 구한 후, 발생도 기준 표를 참고하여 부품의 발생도 점수를 구하였다.

그림 4.13은 고장모드별 FTA의 게이트 연산으로 시설물의 고장모드별 발생확률을 나타내며, 관리자는 시설물 고장모드를 알 수 없을 경우, 해당 우선순위로 고장모드를 추정한다.

No.	발생일자	시설물코드	시설물	부품코드	부품	고장모드	진행상태	관리
1	2013-08-03	M-0-601 A	보일러	PART-275	Sleeve Gasket	누수	완료	상세보기
2	2013-08-19	M-0-601 A	보일러	PART-009	구동모터	전동 OFF	A/S 등록	상세보기
3	2013-09-08	M-0-601 A	보일러	PART-098	온도센서	전동 OFF	완료	상세보기
4	2013-09-11	M-0-601 A	보일러	PART-038	모터베어링(부품)	진동	A/S 등록	상세보기
5	2013-09-18	M-0-601 A	보일러	PART-134	콘센트	전동 OFF	완료	상세보기
6	2013-09-24	M-0-601 A	보일러	PART-030	프타릭 조인트	진동	A/S 등록	상세보기
7	2013-09-25	M-0-601 A	보일러	PART-091	엔로필터	전동 OFF	완료	상세보기
8	2013-09-25	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소각가스켓	누수	완료	상세보기
9	2013-09-25	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러연통가스켓	누수	진행	상세보기
10	2013-09-25	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	누수	진행	상세보기
11	2013-09-25	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	전동 OFF	A/S 등록	상세보기
12	2014-03-05	M-0-601 A	보일러	PART-030	프타릭 조인트	진동	완료	상세보기
13	2014-03-10	M-0-601 A	보일러	PART-009	구동모터	진동	A/S 등록	상세보기
14	2014-03-10	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	전동 OFF	A/S 등록	상세보기
15	2014-03-10	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	전동 OFF	A/S 등록	상세보기
16	2014-03-10	M-0-601 A	보일러	PART-275	Sleeve Gasket	누수	A/S 등록	상세보기
17	2014-03-10	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소각가스켓	누수	A/S 등록	상세보기
18	2014-03-17	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러연통가스켓	누수	A/S 등록	상세보기
19	2014-04-07	M-0-601 A	보일러	PART-009	구동모터	전동 OFF	A/S 등록	상세보기

그림 4.11 보일러 샘플링 데이터
Fig. 4.11 Failure data of the boiler

PMIS SYSTEM

http://180.70.94.213/fms/admin/UserManager/Action-adminMember

PMIS SYSTEM

http://180.70.94.213

회원관리

권한관리

보기

출력하기

도구

도움말

PMIS SYSTEM

http://180.70.94.213

한국해양대학교

KOREA MARINE UNIVERSITY

시설물 관리 시스템

Welcome 관리자(admin)로그관리

Sign Out

시설물 관리

부속품 입력 관리

입출고 관리

재고 관리

발주 관리

기초 관리

관리자 메뉴

KOREASOFT FMS

코리아소프트

등록

Excel 열기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-213	Level Sensor	1	96	1.042	2	상세보기
4	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-275	Sleeve Gasket	3	96	3.125	4	상세보기
5	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-098	온도센서	2	96	2.083	3	상세보기
6	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-124	전자압속기	18	96	18.75	7	상세보기
7	M-0-601 A	보일러	PART-002	가스압력스위치	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	상세보기
8	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-009	구동모터	25	96	26.042	8	상세보기
9	M-0-601 A	보일러	PART-073	보일러 압력계	PART-038	모터베어링(부품)	5	96	5.208	5	상세보기
10	M-0-601 A	보일러	PART-074	보일러면플가스켓	PART-074	보일러면플가스켓	8	96	8.333	5	상세보기
11	M-0-601 A	보일러	PART-075	보일러소재구가스켓	PART-075	보일러소재구가스켓	12	96	12.5	6	상세보기
12	M-0-601 A	보일러	PART-091	연료필터	PART-091	연료필터	10	96	10.417	6	상세보기
13	M-0-601 A	보일러	PART-126	제어전원 차단기	PART-126	제어전원 차단기	2	96	2.083	3	상세보기
14	M-0-601 A	보일러	PART-130	회로개차통	PART-130	회로개차통	3	96	3.125	4	상세보기

시설물 관리

장비 관리

부품 고장확률

일괄리스트

조회일자: - - 통합검색: M-0-601 A 검색

시설물코드	시설물	장비코드	장비	부품코드	부품	고장발생횟수	시설물고장횟수	고장확률	발생도	관리	
1	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-030	호터리 조인트	3	96	3.125	4	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	PART-001	가스압력계이지	PART-134	콘랜서	2	96	2.083	3	

그림 4.12 부품 고장 확률
Fig. 4.11 Failure probability of parts

시설물코드	시설물	고장코드	고장 모드 발생확률(%)	우선순위	관리
1	M-0-601 A	보일러	전원 OFF	92.5617	상세보기
2	M-0-601 A	보일러	누수	22.2979	상세보기
3	M-0-601 A	보일러	진동	32.0846	상세보기

그림 4.13 시설물 고장모드 추정
Fig. 4.13 Estimation of facility failure mode

그림 4.14는 부품의 실제 평균사용시간을 확인할 수 있으며, 부품 교체 알고리즘에 의한 push notification 발생 시, MTBF의 재설정에서 참고한다.

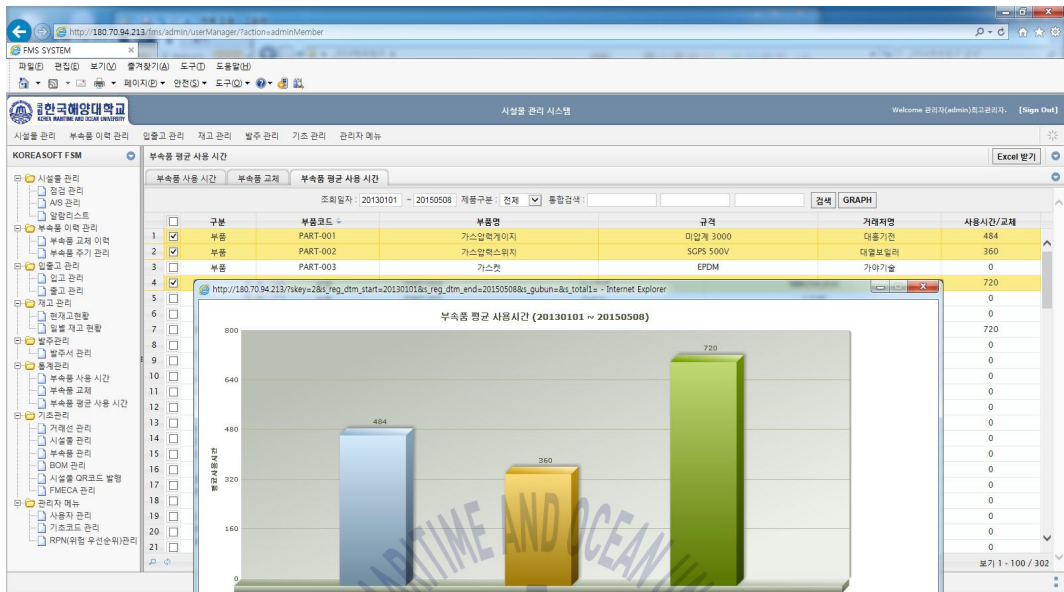


그림 4.14 부품 평균 사용시간 통계 차트

Fig. 4.14 Charts of parts MTBF

제 5 장 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 부품별 고장 위험우선순위를 이용한 시설물 관리 시스템에 관한 내용을 기술하였다. 이를 위해 시설물의 위험우선순위를 설정함에 있어서 시설물을 구성하는 BOM을 활용하여 부품의 중요도를 기준으로 심각도를 계산하였다. 그리고 부품의 고장 발생확률을 FMECA의 발생도에 적용하였으며, 또한 FTA의 기본사상의 확률로 적용하였다. FMECA와 FTA에 부품의 고장 확률을 적용함으로써 고장모드 발생 시 고장모드 우선순위 확인 및 고장 확률에 따른 고장원인에 되는 부품의 우선순위를 확인할 수 있었다. 고장 확률은 시설물의 데이터가 누적될수록 실제 고장확률에 근사치를 가지게 되고, 정량적인 샘플링 데이터를 바탕으로 신뢰성에 근거하여 고장의 유형과 원인을 정성적 및 정량적으로 분석하여 예방정비 계획 수립과 고장 발생 시 이를 빠른 시간 내에 효율적으로 정비, 복구하기 위한 데이터로 활용할 수 있으며 효과적인 고장 분석이 가능할 수 있다.

본 논문의 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 관리자가 고장모드를 인지할 수 없을 경우 FTA를 이용하여 고장모드의 확률을 구할 수 있으며 관리자는 시설물의 고장모드를 추정할 수 있다. 둘째, 고장부품을 알 수 없을 경우, FMECA의 부품별 위험 우선순위를 이용하여 고장모드별 고장부품 추정을 추정할 수 있다. 셋째, 고장 처리 주요 항목에 대한 대책으로써 고장 확률 개선 및 위험우선순위 개선방안을 제안 하였다. 이는 효과적인 고장 처리가 가능하고 유지보수 측면에 있어서 비용을 효과적으로 절감할 수 있을 것이다.

향후에는 보다 더 신뢰성 있는 부품 고장 확률 및 위험우선순위 결정을 위해서 현장에서의 샘플링 데이터 수집 및 관리에 있어서 체계적인 관리가 필요하며, 샘플링 데이터를 보다 정밀하게 분석하기 위한 많은 연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고 고장 처리에 있어, 고장 추정만이 아닌 수집된 샘플링 데이터를 활용하여 전문가 시스템을 이용한 시설물 대한 고장 및 예측 정보를 제공하는 진단 시스템 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 정준, 장진호, 선충현, 정재우, 2014. 복합무기체계에서 FMECA 고장영향 확률 결정 방법에 따른 치명도분석 결과 비교. *대한산업공학회 추계학술대회논문집*, pp. 3083-3089.
- [2] 김동진 등, 2007. 결합수분석법과 퍼지논리를 이용한 FMECA 평가. *한국철도학회 추계학술대회논문집*, pp.1523-1526.
- [3] 강현국, 김만철, 박주남, 왕종배, 2007. 철도건널목 위험도 정량평가 방법론 적용성 연구. *한국철도학회 춘계학술대회논문집*, pp.22-30.
- [4] 김원경, 2005. *시스템 신뢰도공학*. 교우사
- [5] 김승현, 이장현, 김광식, 전정익, 2011. 선박 배관 설계를 위한 Enterprise BOM의 설계와 구현. *한국CAD/CAM학회논문집*, 16(1), pp.41-51.
- [6] 황훈규 등, 2014. 부품별 고장 영향 및 교체 알람을 제공하는 시설물 관리 시스템의 개발. *한국마린엔지니어링학회지*, 38(4), pp.456-462.
- [7] MIL-STD 1629A, Reliability-Centered Maintenance, US Department of Defense, Washington DC 20301
- [8] 김상연, 윤원영, 김호균, 2007. 가전용 모터의 FMEA 실시 과정에서의 RPN 평가방법 재정립. *한국품질경영학회보*, 35(1), pp.1-9.
- [9] 장중순, 안동근, 1997. 효과적인 FMEA 실시. *한국품질경영학회보*, 25(1), pp 156-172
- [10] 이상용, 2008. *신뢰성 공학*. 형설출판사
- [11] 서병석, 이동익, 2011. FTA를 이용한 전기 자동차 고장 유형 분석. *한국자동차공학회 추계학술대회*, pp.1239-1242.
- [12] 이동아, 김의섭, 유준범, 2013. 원자력 발전소 I&C 시스템의 안전성 분석을 위한 신기술 적용 사례. *정보과학회지*, 31(5), pp.10-17.
- [13] 임성준, 한찬규, 2010. 고장목 분석(FTA)를 통한 사격통제시스템의 임무신뢰도 예측 연구. *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*, pp.901-905.
- [14] Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., Asgharpour, M. J, 2006. Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(8), pp.872-881.
- [15] 김민수, 왕종배, 박찬우, 조연옥, 2009. ETA 및 FTA를 이용한 철도 건널목사고 위험도 평가 모델 개발에 대한 연구. *한국철도학회 논문집* 12(6), pp.936-943.
- [16] 구본희, 차준민, 김철철, 2008. FTA를 이용한 전기철도 전차선의 신뢰도 분석. *전기학회논문지*, 57(11), pp.1905-1909.
- [17] 권오운, 1998. 고장해석수법으로서의 FTA(고장목분석) 활용방안. *한국표준협회 공*

장혁신지, 5월호

- [18] 안병현, 김병정, 2012. HTML5 표준화 현황과 활용 사례. *정보과학회지*, 30(5), pp.10-15.
- [19] 이승윤, 2011. 차세대웹(HTML5), 스마트 미디어의 진화, *KT경제경영연구소, DIGIECO Focus* 11월호
- [20] 정종혁, 2010. *젊은층과 함께하는 새로운 광고 비즈니스 모델*. [Online] (Updated January 2010) Available at: <http://www.ad.co.kr/> [Accessed 15 May 2015].
- [21] PIETRO SACCOMANI, 2012. *Native, Web or Hybrid Apps? What's The Difference?* [Online] (Updated 11 June 2012) Available at: <http://www.mobiloud.com/> [Accessed 16 May 2015].

